

SANTIAGO FRANCISCO YUNES
CARLOS ALBERTO MARQUES
- ORGANIZADORES -

A MÉTRICA HOLÍSTICA

ESTRELA VERDE:

ANÁLISE DE ATIVIDADES EXPERIMENTAIS NO ENSINO DE QUÍMICA

Atena Editora
Ano 2023



SANTIAGO FRANCISCO YUNES
CARLOS ALBERTO MARQUES
- ORGANIZADORES -

A MÉTRICA HOLÍSTICA ESTRELA VERDE:

ANÁLISE DE ATIVIDADES EXPERIMENTAIS NO ENSINO DE QUÍMICA

Atena Editora
Ano 2023

Editora chefe
Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Editora executiva
Natalia Oliveira
Assistente editorial
Flávia Roberta Barão
Bibliotecária
Janaina Ramos
Projeto gráfico
Camila Alves de Cremo
Luiza Alves Batista
Nataly Evilin Gayde
Imagens da capa
iStock
Edição de arte
Luiza Alves Batista

CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA E ENGENHARIAS

A métrica holística estrela verde - Análise de atividades experimentais no ensino de química

Diagramação:	Natália Sandrini de Azevedo
Correção:	Yaiddy Paola Martinez
Indexação:	Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão:	Os autores
Organizadores:	Santiago Francisco Yunes Carlos Alberto Marques

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Y95 A métrica holística estrela verde - Análise de atividades experimentais no ensino de química / Organizadores Santiago Francisco Yunes, Carlos Alberto Marques. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2023.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-258-1357-8
DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.578232704

1. Química - Estudo e ensino. I. Yunes, Santiago Francisco (Organizador). II. Marques, Carlos Alberto (Organizador). III. Título.

CDD 540.7

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos vários professores/as das disciplinas de Química Orgânica Experimental I, Química Inorgânica Experimental I, Físico-Química Experimental I e Química Analítica Experimental, os quais produziram e aperfeiçoaram as Atividades Experimentais ao longo do tempo.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) (Código de Financiamento 88887.178071/2018-00), Ciência na Escola (processo 441132/2019-7), do CNPq, da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) e do Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica.

Este livro tem por objetivo oferecer exemplares de atividades experimentais analisadas sob a ótica e alguns princípios da Química Verde (QV), contribuindo, assim, para a difusão do Ensino da QV. Essas atividades experimentais foram originalmente desenvolvidas em laboratórios de ensino de disciplinas iniciais dos Cursos de Graduação em Química, do Departamento de Química da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Em reações de sínteses, sem sínteses e em procedimentos experimentais de Química Orgânica, Química Inorgânica, Físico-Química e Química Analítica, foram conduzidas análises teóricas para levantamento do grau de verdura química (*greeness*) utilizando uma métrica gráfica denominada Estrela Verde (EV). Tal certificação, além de sinalizar o grau de perigo ambiental e à saúde humana, almejou também abrir um campo de estudos para a busca de eventuais melhorias nas reações, de modo a aumentar a salvaguarda do ambiente.

A chamada QV, também denominada Química Verde e Sustentável, é a perspectiva que orienta tanto o tratamento técnico-científico quanto a abordagem didática de sua discussão. Fundamentado em 12 Princípios (12P), esse campo de pesquisas da Química tem, há quase 30 anos, procurado orientar um conjunto de mudanças na forma de pensar e praticar a química de modo a garantir, preventivamente, a salvaguarda do ambiente. Envolve principalmente a concepção (*design*) de produtos químicos, muito mais do que resolver os problemas derivados da poluição química.

A inserção da QV no ensino da química tem sido ainda um grande desafio. Contudo, progressivamente, essa vem sendo apresentada e inserida nos currículos e em práticas experimentais dos laboratórios de química, sob várias perspectivas pedagógicas e técnicas.

O conteúdo deste livro é, portanto, dirigido especialmente aos alunos de graduação e docentes universitários atuantes em Cursos de Química. Almeja também atingir professores de química da educação básica que se interessem no desenvolvimento de atividades experimentais simples e fundamentais ao aprendizado da química, com o diferencial delas serem vistas a partir dos cuidados com o ambiente.

Nesse sentido, como os experimentos selecionados fazem parte da fase inicial da formação dos químicos, dos cursos de licenciatura, bacharelado e industrial, eles têm potencialmente o papel de proporcionar mudanças de estilo de pensamento dos iniciantes em química durante e após o seu percurso formativo, ou seja, no exercício profissional. Portanto, oferecer uma formação baseada na ética ambiental, fundamentada no rigor teórico-prático, busca contribuir para a busca da sustentabilidade ambiental.

O livro é fruto de pesquisas do Grupo de Investigação no Ensino de

Química (GIEQ) da Universidade Federal de Santa Catarina que, ao longo dos seus quase 20 anos, vem desenvolvendo estudos, investigações, produções e formação acadêmica voltadas ao ensino da Química, com olhar especial à QV e à sustentabilidade.

Esse livro está organizado em duas partes, sendo a primeira de introdução e fundamentação e a segunda de análises dos roteiros experimentais e sugestões. A Parte I é composta por três capítulos, de 1 a 3. O capítulo 1, *A Química Verde e seu Ensino*, apresenta a QV, seu histórico, princípios, inserção no ensino de Química e a formação profissional, bem como uma discussão sobre os vários e importantes papéis do laboratório de ensino. O capítulo 2, *Segurança Química: sistemas de classificação e comunicação de perigos*, aborda aspectos da Segurança Química, do Guia Harmonizado de Segurança, do *Material Safety Data Sheet* (MSDS) ou Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico (FISPQ), relacionando-os brevemente com métricas de massa (E-Factor, Economia Atômica e Intensidade de Massa de Processo) e de métricas ambientais (da sustentabilidade e da QV). No capítulo 3, *Estrela Verde: uma métrica holística*, expõe-se o processo de construção da EV.

A Parte II apresenta quatro capítulos dedicados à Análise da Verdura Química em Atividades Experimentais, selecionadas entre aquelas mais usuais desenvolvidas no ensino das quatro grandes áreas da Química: capítulo 4 - *Atividades experimentais da disciplina Química Orgânica Experimental I*; 5 - *Atividades experimentais da disciplina de Química Inorgânica Experimental I*; 6 - *Atividades experimentais da disciplina de Físico-Química Experimental I*; e 7 - *Atividades experimentais da disciplina de Química Analítica Experimental I*. O capítulo 8 aborda as Considerações Finais, seguido pelas Referências do texto. Os Apêndices apresentam os materiais que podem ser impressos para construção da EV em sala de aula. Tabelas com informações sobre a classificação e identificação dos perigos constam dos Anexos.

SUMÁRIO

SUMÁRIO

LISTA DE ACRÔNIMOS E ABREVIATURAS

12P	Doze Princípios da Química Verde
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACS	American Chemical Society
ACT	Alfabetização Científica e Tecnológica
CMA	Chemical Manufacturing Association
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CSR	Corporate social responsability
CTS	Ciência, Tecnologia e Sociedade
CTSA	Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente
DS	Desenvolvimento Sustentável
EPA	Environmental Protection Agency
EV	Estrela Verde
FISPQ	Ficha Individual de Segurança de Produto Químico
GCJ	Green Chemistry Journal
GHS	Sistema Globalmente Harmonizado para a Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos
IPE	Índice de Preenchimento da Estrela Verde
LabEns	Laboratório de Ensino
LCA	Life Cycle Analysis
MFA	Material Flow Analysis
MSDS	Material Safety Data Sheet (*equivalente a FISPQ*)
NEPA	National Environmental Policy Act
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Regulamentadora
ONU	Organização das Nações Unidas
P	Valor número de Perigo
PLACTS	Projeto Latino-Americano de CTS
PPA	Pollution Prevention Act
QV	Química Verde
RSC	Royal Society of Chemistry
SDS	*Consulte MSDS*
STEM	Science, Technology, Engineering and Mathematics
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UN	*Consulte ONU*
US EPA	*Consulte EPA*
V	Valor numérico de verdura química
WCED	World Comission on Evironment and Development

PARTE I

A QUÍMICA VERDE E SEU ENSINO

Carlos Alberto Marques

Leonardo Victor Marcelino

A QV é uma nova forma de ver e, consequentemente, de praticar a Química que surge no início da década de 1990, no âmbito da Agência de Proteção Ambiental (EPA, *Environmental Protection Agency*) estadunidense e na sequência dos movimentos ambientalistas. O período posterior às Grandes Guerras foi marcado pela consciência dos impactos ambientais dos empreendimentos tecnológicos, bem como pelo encontro de nações desenvolvidas com esses impactos dentro de seus territórios, o que deflagrou mudanças na forma de gerir e conceber os riscos. O livro *Primavera silenciosa,* de Rachel Carson (2010), foi bastante importante para disseminar as preocupações ambientais e direcionar a atenção do público para o tema. Foi nesse contexto que os Estados Unidos criaram a EPA e promulgaram o Ato de Prevenção da Poluição, marcando o papel do Estado como regulador das atividades em uma instância mais preventiva e não somente de tratamento e remediação dos resíduos gerados em atividades industriais.

O surgimento de regulamentações mais rígidas fez com que as indústrias químicas se organizassem para desenvolver e implementar práticas ambientalmente mais benignas, como uma forma de evitar sanções futuras, como multas e taxas ambientais. Nesse sentido, a QV foi promovida no âmbito do *Responsible Care Program*, uma iniciativa voluntária global desenvolvida de forma autônoma por grandes corporações químicas iniciada em 1989 no âmbito da *Chemical Manufacturing Association* (CMA), almejando uma prática com melhor performance ambiental e de segurança, melhorando a percepção pública da Química.

Assim, a QV marca uma mudança importante na gestão de riscos dos produtos e processos químicos. Antes de sua emersão, a gestão de risco era majoritariamente baseada no controle da exposição a produtos perigosos e na permissão da geração de resíduos, que posteriormente seriam tratados para descarte ou seriam armazenados. Importante lembrar que risco é resultado de uma função, calculada a partir do perigo intrínseco que uma substância ou processo impõe à saúde e ao ambiente, multiplicada pela exposição a esses fatores. Tradicionalmente, a química tem abordado a parte da exposição da função dos riscos, mas a QV considera que diminuir ou eliminar os riscos intrínsecos é muito mais eficiente.

A QV, portanto, assume uma postura proativa, ou preventiva, atuando para impedir a geração de impactos ambientais. O primeiro impacto a ser considerado pela QV foi a geração de resíduos, mas logo ela passou a incluir a toxicidade intrínseca desses resíduos

para a saúde e o ambiente, bem como a necessidade do uso mais eficiente de energia e matéria-prima, abordando a renovabilidade, por exemplo. Um grande marco para a QV foi a criação de seus 12 Princípios, publicados por Anastas e Warner (1998), que foram primeiramente considerados como um conjunto de exemplares de práticas ambientalmente benignas (ou verdes), mas que passaram a funcionar como *regras de design,* elementos que devem ser levados em conta ao se fazer um projeto (conferir Figura 1.1). Essa formulação concisa da QV foi bastante importante para seu reconhecimento e divulgação nos anos seguintes.

1 Prevenção	2 Economia Atômica	3 Síntese de Produtos Menos Perigosos	4 Desenho de Produtos Seguros
Evitar a produção do resíduo é melhor do que tratá-lo após sua geração.	Deve-se procurar desenhar metodologias sintéticas que possam maximizar a incorporação de todos os materiais de partida no produto final.	Sempre que praticável, a síntese de um produto químico deve utilizar e gerar substâncias que possuam pouca ou nenhuma toxicidade à saúde humana e ao ambiente.	Os produtos químicos devem ser desenhados de tal modo que realizem a função desejada e ao mesmo tempo não sejam tóxicos.
5 Solventes e Auxiliares mais Seguros	6 Busca pela Eficiência Energética	7 Uso de Fontes Renováveis de Matéria-Prima	8 Evitar a Formação de Derivados
O uso de substâncias auxiliares (solventes, agentes de separação, secantes etc.) precisa, sempre que possível, tornar-se desnecessário e, quando utilizadas, estas substâncias devem ser inócuas.	A utilização de energia pelos processos químicos precisa ser reconhecida pelos seus impactos ambientais e econômicos e deve ser minimizada. Se possível, os processos químicos devem ser conduzidos à temperatura e pressão ambientes.	Sempre que técnica e economicamente viável, a utilização de matérias-primas renováveis deve ser escolhida em detrimento de fontes não renováveis.	A derivatização desnecessária (uso de grupos bloqueadores, proteção/desproteção, modificação temporária por processos físicos e químicos) deve ser minimizada ou, se possível, evitada, porque estas etapas requerem reagentes adicionais e podem gerar resíduos.
9 Catálise	10 Desenho para a Degradação	11 Análise em Tempo Real para a Prevenção da Poluição	12 Química Intrinsecamente Segura para a Prevenção de Acidentes
Reagentes catalíticos (tão seletivos quanto possível) são melhores que reagentes estequiométricos.	Os produtos químicos precisam ser desenhados de tal modo que, ao final de sua função, se fragmentem em produtos de degradação inócuos e não persistam no ambiente.	Será necessário o desenvolvimento futuro de metodologias analíticas que viabilizem um monitoramento e controle dentro do processo, em tempo real, antes da formação de substâncias nocivas.	As substâncias, bem como a maneira pela qual uma substância é utilizada em um processo químico, devem ser escolhidas a fim de minimizar o potencial para acidentes químicos, incluindo vazamentos, explosões e incêndios.

Figura 1.1 – Os 12 Princípios da Química Verde

Fonte: Adaptado de Anastas e Warner (1998).

Inicialmente, esses princípios foram pensados e promovidos de forma independente, almejando transformações incrementais na prática química. Com o tempo, ficou claro que mudanças efetivas necessitavam de uma ação coordenada de todos os princípios ao longo de toda a cadeia produtiva, o que levou os pesquisadores a proporem estratégias sistêmicas para abordar a verdura de processos e produtos químicos.

Com o tempo, pesquisadores começaram a refletir sobre a necessidade de incluir a QV no ensino de Química. Mesmo a QV tendo quase 30 anos, sua inserção na formação do químico e no Ensino de Química data de períodos posteriores ao que se considera a fase de emersão da QV, ou seja, após os anos de 1990. O motivo é simples: os resultados de pesquisa que a envolve são mais difundidos na primeira década do século XXI e sua profusão no ensino é consequência dessa difusão, portanto, mais recente. Assim, diversos estudos têm apontado que a difusão de princípios e práticas da QV na graduação e na pós-graduação é incipiente (MARQUES *et al*., 2013), seja em cursos superiores de Química (ANTONIN; MORASHASHI; MALPASS, 2011; ZUIN, 2013) ou na formação de professores da área (ZUIN, 2011; ROLOFF, 2012, 2016; ZUIN; DE ALMEIDA PACCA, 2013).

Não obstante essa questão temporal, publicações voltadas ao ensino da QV têm crescido muito em todos os continentes e em vários formatos de divulgação, especialmente em artigos científicos e alguns livros.[1] Se por um lado o *Green Chemistry Journal* (RSC) tem sido um importante veículo de difusão de pesquisas em QV, de outro lado o *Journal of Chemical Education* (JCEd) tem trazido vários trabalhos sobre o ensino da QV, por vezes relacionado com o tema da sustentabilidade.

Em pesquisa realizada em 226 artigos publicados no JCEd até 2018, Marques *et al.* (2020) evidenciaram uma diversidade de propostas de ensino e de relatos de experiências voltadas ao ensino da QV que, em sua maioria (175 trabalhos), reportavam atividades de laboratório, principalmente na área de orgânica (135). A maior parte dos trabalhos eram voltados à graduação em química (187) e também mostraram a concentração de trabalhos relacionados à experimentação química, além de proposituras e preocupações relacionadas ao material didático para o ensino da QV. Outro destaque é que, embora os artigos mencionem que empregam novas práticas químicas denominando-as de QV, nem todos detalham, aprofundam e problematizam o modo como as desenvolvem nas situações de ensino.

Os autores constataram que nem sempre as apresentações das experiências de ensino ou as propostas didáticas indicadas vêm acompanhadas de sugestões completas para a sua concretização. Isso pode estar indicando que ainda se tem dificuldades na implementação do ensino da QV, podendo dizer-se, de modo resumido, que se sabe dizer o que fazer, mas ainda não como fazer. Não obstante, os relatos de experiência geralmente realçaram, com algumas exemplificações, casos exitosos ou potencialidades de aplicação

1 Conferir os textos de Clark e Macquarrie (2002), Marques *et al*. (2020), Marques e Machado (2021) e Zuin e Mammino (2015).

da QV e da necessidade de seu ensino para a formação dos alunos, frequentemente justificada para se materializar e aumentar os compromissos da química com o ambiente e a sustentabilidade.

Os conteúdos da QV mais relatados das publicações analisadas estavam relacionados à sua apresentação, seus princípios e aplicações práticas de um ou mais princípios. Entretanto, também foram identificados trabalhos que abordam o ensino de métricas de avaliação de impactos ambientais ou que refletem sobre ensino e aprendizagem de QV ou o seu currículo de forma mais abrangente.

Segundo Marques *et al*. (2020), poucos trabalhos mencionaram a necessidade de a QV ter uma base de pensamento sistêmico ou holístico na abordagem dos problemas ambientais e na formação do químico.[2] Os autores concluem que a profundidade e sustentação teórica relativa ao pensamento sistêmico e perspectiva holística foram muito diferenciadas entre os trabalhos, em muitos casos mesmo incipientes, ao exprimirem uma visão quanto às relações da QV, seu ensino e a questão da sustentabilidade. Algo compreensível, considerando que esse tema, ainda que em voga, é bastante complexo e envolve diferentes áreas do conhecimento e, consequentemente, vários pontos de vista. Segundo Mahaffy *et al.* (2019a, p. 364, tradução nossa) a "perspectiva de sistemas que relaciona atividades químicas a desafios da sustentabilidade ainda não está total ou sistematicamente incorporada na prática rotineira de química".

Este capítulo pretende trazer alguns elementos importantes para discutir a inserção da QV no Ensino de Química. Na seção 1.1 abordamos alguns argumentos que justificam as contribuições da QV para a educação. A seção 1.2 apresenta algumas propostas de modelos gerais que podem guiar a inserção da QV em currículos de Química. Por fim, a seção 1.3 aborda a importância dos laboratórios de ensino para a formação.

1 I CONTRIBUIÇÕES DA QUÍMICA VERDE PARA O ENSINO DE QUÍMICA

Há diversos argumentos para defender a inclusão da QV no ensino de Química, como, por exemplo:

- Formar o químico para assumir sua responsabilidade em:
- Lidar com a poluição;
- comunicar a comunidade sobre suas pesquisas;
- participar da construção de currículos de ensino de Química;
- apresentar uma nova forma de relacionamento da Química com o ambiente;
- desenvolver uma prática química mais segura para alunos e educadores;

2 Por exemplo, os trabalhos de Eissen *et al*. (2008), Stark *et al*. (2010), Ribeiro e Machado (2011, 2013), Sjöström; Talanquer (2014), Duarte, Ribeiro e Machado (2014), Guron, Paul e Roeder (2016), Mahaffy *et al*. (2017) e Lam *et al*. (2019).

- enquadrar a inovação e criatividade a partir de valores ambientais;
- abordar a crise ambiental e promover a sustentabilidade.

Esses argumentos podem ser enxergados do ponto de vista da formação do profissional da Química (bacharéis, licenciados e tecnólogos), mas também da formação do cidadão não cientista. Na formação do Químico, a educação em QV pode contribuir diretamente para o desenvolvimento da sua prática. Já na formação do cidadão leigo, a QV fornece instrumentos teóricos para que ele possa entender o mundo, engajar-se ativamente na discussão de assuntos de seu interesse e participar dos processos de tomada de decisão. Discutimos brevemente esses argumentos abaixo.

É comum atribuir a emergência da QV ao reconhecimento da responsabilidade dos químicos[3] em lidar com os impactos de suas próprias práticas, já que eles detêm o conhecimento químico e a capacidade de realizar mudanças. Chamizo (2011, 2017) argumenta que há, até o momento, cinco revoluções teórico-metodológicas na Química[4] e conclui que estamos vivendo a quinta revolução, que representa a época de assumir as culpas, iniciada com a publicação dos estudos sobre o impacto dos clorofluorcarbonos na atmosfera. Pelo menos nos discursos, alega o autor, a Química assume sua responsabilidade, criando códigos de conduta, participando na criação de regulações de produtos químicos e estabelecendo princípios e ideais de ação ambientalmente benigna, como a QV. Mas o autor também questiona se essas são preocupações reais ou mera "maquiagem" verde.

Outros pesquisadores têm apontado que a resposta aos problemas ambientais, como a que a QV oferta, é apenas uma das partes da responsabilidade dos químicos (Conf. EILKS; SJÖSTRÖM; ZUIN, 2017; SJÖSTRÖM *et al.*, 2017). É necessário que os químicos também compreendam os mecanismos de seleção e simplificação que levam os seus conhecimentos até a população em geral e como isso pode influenciar na tomada de decisão sobre assuntos da vida pública. Essa circulação de conhecimentos se dá em diversos espaços, como a mídia, educação não formal e escola, por exemplo, em que conhecimentos são filtrados e adaptados para atender aos públicos-alvo. Seria importante que os químicos também participassem desses processos de seleção e adaptação dos conhecimentos, como construção de currículos escolares. Isso pode ajudar a uma maior incorporação da QV em currículos da educação básica e graduação, por exemplo.

Além de ressaltar a responsabilidade do químico com o ambiente, a QV apresenta uma natureza diferenciada para a relação entre química e ambiente. Conforme aponta Machado (2004), é possível praticar uma química *do* ambiente, uma química *no* ambiente

3 Conferir os trabalhos de Anastas e Williamson (1996) e de Eilks *et al.* (2017).

4 Primeira Revolução (1770-1790): Química Quantitativa, linguagem; Segunda Revolução (1855-1875): Química molecular, valência, tabela periódica e organização da Química como uma comunidade organizada; Terceira Revolução (1904-1924): Físico-química e eletromagnetismo; Quarta Revolução (1945-1965): A revolução "instrumental", pela inserção massiva de instrumentos científicos nos laboratórios, e; Quinta Revolução (1973-1993): a revolução "ambiental" ou Tecnociência, pautada pela preocupação com a atividade industrial e seu impacto na sociedade.

e uma química *para* o ambiente. No primeiro caso, a química estuda a existência de substâncias autóctones *do ambiente*, seu processo de formação, interação e mobilidade, sendo bem representada pela disciplina Geoquímica. No segundo caso, a química estuda as substâncias (geralmente de origem antrópica) inseridas *no ambiente* e suas interações, sendo trivialmente associada à Química Ambiental. Por último, trata-se de uma química que faz um esforço deliberado para evitar ou minimizar impactos ambientais, agindo proativamente e realizando uma prática *para o ambiente*, sendo o caso da QV. Llored e Sarrade (2016) argumentam que a QV apresenta um diferencial ontológico e epistemológico da Química, ao incluir o ambiente na definição do objeto de pesquisa. Ou seja, um material não é somente definido pela sua composição, estrutura, propriedades, reatividade e meio reacional, mas também pelos impactos que pode gerar no ambiente e na saúde humana.

A QV não é só uma responsabilidade, como uma possibilidade concreta de desenvolver novas substâncias, mecanismos e processos. Diversas pesquisas argumentam que já existe um repertório de pesquisas acumulado durante os anos que permite a QV organizar sua prática em direção ao *design* ambientalmente benigno (ANASTAS; WILLIAMSON, 1996; ANASTAS, 1999; CLARK, 1999; ANASTAS; EGHBALI, 2010; CLARK *et al.*, 2014; SHELDON, 2014). Entende-se que a QV não limita as possibilidades de inovação da Química, mas enquadra a criatividade e a inovação a partir do objetivo de práticas ambientalmente benignas. Howard-Greenville *et al.* (2017) verificaram que pesquisadores químicos tendem a usar esse mesmo argumento de oportunidades de inovação para promover e divulgar a QV. Assim, o ensino da QV apresenta aos químicos desafios que podem conduzir a conhecimentos realmente inovadores.

Não obstante, a QV se apresenta como uma abordagem mais segura da Química, reduzindo gastos com remediação e controle de substâncias perigosas e mesmo evitando acidentes. Assim, ela pode se tornar uma opção mais viável em laboratórios de ensino, além de laboratórios industriais, ajudando a difundir práticas mais seguras. Por abordar a periculosidade intrínseca das substâncias e processos, a QV pode contribuir para atividades práticas com equipamentos mais simples, medidas de controle e remediação menos complexas e, em geral, mais seguras. Howard-Greenville *et al.* (2017) relatam que esse é um argumento bastante usado por gestores e industriais para promover a adoção da QV.

Convém ainda ressaltar que, recentemente, a QV tem se aproximado do conceito de sustentabilidade, despertando também a necessidade de pensar no papel e na importância que a sustentabilidade ocupa enquanto justificativa para uma prática verde. Em alguns momentos, os termos "Química Verde" e "química sustentável" são usados de forma indiscriminada, como sinônimos. Porém, uma investigação com pesquisadores em QV mostrou que as compreensões dos químicos investigados sobre o conceito de sustentabilidade não são homogêneas ou consensuais, tampouco o reconhecimento dos limites ao desenvolvimento sustentável é amplamente reconhecido (MARQUES *et al.*,

2013; MARQUES; MACHADO, 2014).

Adélio Machado (2004) compara brevemente os termos QV, “Química Sustentável” e “Química Verde e Sustentável”, alertando sobre o possível caráter propagandístico dos dois últimos termos ao incluírem o Sustentável para se aliar aos atuais discursos ambientalistas. O próprio conceito de Desenvolvimento Sustentável é polissêmico e criticado por diversos autores (LATOUCHE, 2012; MARQUES *et al*., 2013), sendo necessário também refletir sobre o que significa sustentabilidade ou ser sustentável. Freitas e Marques (2017) investigam e discutem bem essa polissemia, diferenciando uma abordagem instrumental da sustentabilidade, em que ela é uma mudança auxiliar ou adjetiva a um processo técnico, de uma abordagem substantiva, que opera na própria crítica do processo, mudando a sua natureza ou mesmo suspendendo sua existência.

Mais recentemente, a QV tem sido apresentada como a base molecular da sustentabilidade. A ideia é que a atividade principal da química é analisar, sintetizar e transformar a matéria, estando no centro das discussões da sustentabilidade, já que o fluxo da matéria (extração, uso, descarte e renovabilidade) é o núcleo dessas discussões. Mahaffy *et al.* (2019b) definem a base molecular da sustentabilidade como as maneiras com que a base material da sociedade e da economia influenciam as possibilidades das gerações presentes e futuras poderem viver dentro dos limites do mundo natural. Assim, os autores defendem que a educação promova o reconhecimento da base molecular da sustentabilidade e o papel da Química na transformação da matéria, o que pode gerar mudanças nas práticas químicas em direção à sustentabilidade.

Contudo, para essa evolução é necessário o desenvolvimento do pensamento sistêmico no Ensino de Química. Pensamento sistêmico é definido como um processo de entendimento holístico de como o conhecimento da química se conecta de forma dinâmica e complexa com os sistemas social, tecnológico, econômico e ambiental (MAHAFFY *et al*., 2019a, 2019b). O ensino para o pensamento sistêmico vai além de apresentar reações e processos químicos como fatos isolados para demonstrar conceitos fundamentais, princípios ou cálculos matemáticos; mas incorpora as relações do conhecimento químico com os ciclos de matéria e energia na Terra e com as necessidades da sociedade.

Essas são possíveis contribuições da QV para a formação. Contudo, sua potencialidade só será completamente realizada se for acompanhada de processos didáticos condizentes com esses objetivos. É necessário, portanto, discutir formas de inserir a QV nos currículos de Química, algo que faremos brevemente a seguir

2 | MODELOS DE INSERÇÃO DA QUÍMICA VERDE NOS CURRÍCULOS

Autores têm proposto modelos de inserção da QV nos currículos de Química. Abaixo, apresentamos algumas dessas proposições.

Goes *et al.* (2013) propõem modelos para inserir a QV em currículos de Química, adaptados dos modelos de Burmeister, Rauch e Eilks (2012) para integração de questões de

sustentabilidade no ensino de Química. Pelo Modelo 1, princípios de QV são incorporados em atividades experimentais, transformando experimentos tradicionais em experimentos verdes. No Modelo 2, os princípios de QV e de aplicações industriais são abordados como estratégias para a sustentabilidade, configurando-se como conteúdo químico. No Modelo 3, são usados temas controversos de interesse social para discutir conteúdos de química e as diversas dimensões da sustentabilidade.

Mendes Sandri e Santin Filho (2019) também se baseiam nos modelos de Burmeister, Rauch e Eilks (2012), mas colocam em evidência a contribuição de cada modelo para romper com a racionalidade instrumental, a forma de pensar que busca "oferecer soluções para problemas por meio de conhecimentos preestabelecidos, de maneira mecânica e sem avaliar as situações vivenciadas ou as consequências das ações" (MENDES SANDRI; SANTIN FILHO, 2019, p. 35). No Modelo 1, os princípios da QV são abordados qualitativamente por meio de experimentações, pela substituição de solventes ou redução de escala, por exemplo. O aluno apenas aplica o roteiro, sendo que cabe ao professor selecionar ou desenvolver o experimento mais verde. O objetivo educacional desse modelo é praticar e divulgar a QV, porém não são realizadas análises sistemáticas e criteriosas da verdura química. No Modelo 2, os princípios da QV são aliados aos conceitos e teorias da Química, de forma que o aluno possa refletir, avaliar e tomar decisões sobre os processos de síntese e transformação, o que torna a discussão e aplicação de métricas importante. Nesse modelo, os alunos são incentivados a participar do processo de design dos roteiros e também se engajam em discutir questões de sustentabilidade relacionadas àquele conteúdo químico, sendo os objetivos educacionais inserir a QV no ensino e melhorar a imagem da Química na sociedade. Finalmente, no Modelo 3 os alunos ainda são colocados no centro do processo de ensino, mas também são requeridos a discutir sobre as relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) que permearam a construção do conhecimento químico e suas decorrências. A abordagem da QV é mais transversal aos conteúdos da Química e às próprias disciplinas escolares, já que exige uma análise mais complexa de fatores sociais, culturais, políticos e ambientais atrelados aos fenômenos da realidade que são analisados pela Química. A QV é atrelada à discussão da sustentabilidade, mas reconhecendo os limites dessa relação, como aqueles impostos pela termodinâmica.[5] O objetivo educacional desse Modelo 3 é promover a prática intencional, crítica e consciente da QV, bem como estimular a Educação Ambiental e a Educação para a Sustentabilidade.

O modelo 1 é a forma mais simples de inserção da QV, mas não exige uma reestruturação curricular ou uma prática nova do professor. No modelo 3, há a criação de um conhecimento pedagógico específico para lidar com os conteúdos ensinados, bem como há necessidade de transformar o currículo e as relações entre as disciplinas. Os

5 A segunda lei da termodinâmica, Lei da Entropia, argumenta que processos espontâneos só ocorrem com a degradação de parte da energia útil na forma de energia não organizada (como calor). Por isso, todo processo de transformação de matéria, geração de energia ou desempenho de trabalho envolve a degradação de matéria e energia úteis. Conferir mais em Barbosa e Marques (2015).

modelos representam um gradiente, que vai de abordagens mais instrumentais no Modelo 1 até abordagens mais críticas no Modelo 3 e podem ser encarados como sistemas concêntricos, em que cada modelo superior engloba um modelo inferior, mas expande seu domínio, conforme Figura 1.2.

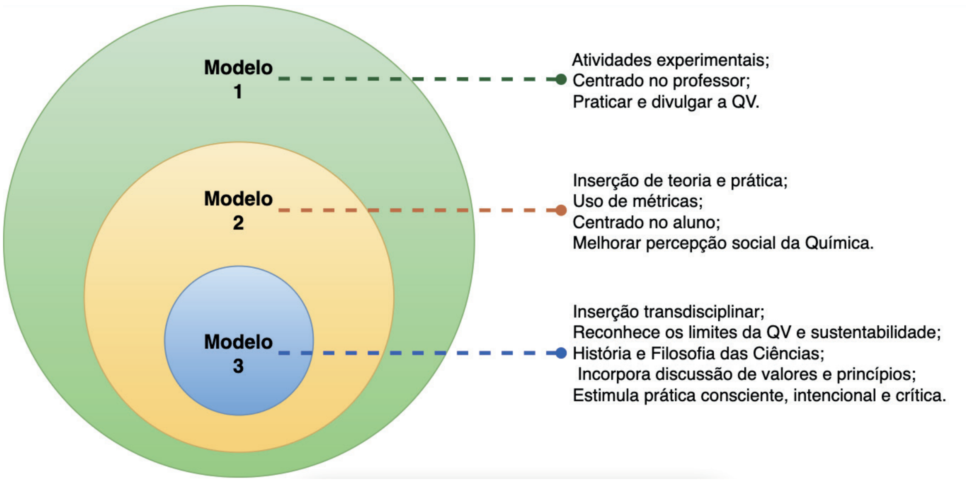


Figura 1.2 – Representação dos Modelos de Integração da Química Verde aos currículos de Química Adaptado de Mendes Sandri e Santin Filho (2019).

Isso significa que nem toda inserção de princípios de QV em atividades experimentais se dá necessariamente por meio da racionalidade instrumental do Modelo 1. Timmer *et al.* (2018), por exemplo, relatam a inclusão de conteúdos de QV em uma disciplina de química orgânica, especialmente em sua parte de laboratório, em que conceitos de QV, como métricas verdes, solventes alternativos e fontes renováveis foram discutidos na parte teórica e questões sobre avaliação da verdura das práticas eram realizadas no fim da atividade. Dessa forma, os autores almejaram inserir discussões de QV ao longo de todo curso, mantendo os alunos pensando constantemente sobre questões ambientais em suas práticas.

Eilks, Sjöström e Zuin (2017) propõem três formas distintas de pensar o ensino de ciências, chamadas de visões. Na Visão I, o ensino de Química focaliza na apreensão de conceitos químicos para aplicações futuras e prosseguimento da educação, sendo que o currículo é organizado na estrutura das disciplinas tradicionais. A Visão II propicia o ensino da utilização do conhecimento científico para a vida e para a participação na sociedade, considerando contextos significativos; o currículo é organizado a partir de conhecimentos baseados em contextos e nas relações CTS. Essas duas visões já haviam sido propostas em 2007, sendo que os autores propõem uma Visão III, que enfatiza o aprendizado para o engajamento científico, levando o conteúdo de ensino para além dos contextos e processos

internos à Química, alcançando a discussão de assuntos relevantes para a sustentabilidade e a sociedade como um todo, em um currículo pautado por questões sociocientíficas.

A Visão III valoriza a transformação de indivíduos e sociedades, considerando a reflexão crítica dos valores que guiam essas mudanças, preparando os alunos para ação política. É uma visão de educação que reflete sobre como a imagem do conhecimento científico depende das normas, valores e do tempo em que vivemos, mas que também reflete criticamente sobre as normas e valores individuais, buscando desenvolver a consciência de si mesmo e uma ação autônoma no mundo.

Diversas pesquisas têm relatado que o ensino de QV tem sido majoritariamente praticado por meio de atividades de laboratório (ZANDONAI *et al*., 2014; DUARTE, 2016; MARQUES *et al*., 2020). Contudo, isso não significa necessariamente que modelos e visões mais complexas não estejam sendo postos em prática, já que inserções em atividades de laboratório podem estar incluídas em atividades baseadas em modelos (ou visões) mais complexas e, ainda, transformações em atividades experimentais, mesmo que incipientes, são melhores do que nenhuma mudança, sinalizando uma disposição dos indivíduos em rever suas práticas de ensino.

3 I AS VÁRIAS FUNÇÕES DO LABORATÓRIO DE ENSINO

Ao longo de sua história, a Química é apresentada como uma ciência experimental que envolve diferentes saberes, dentre os quais o procedimental, para o qual o Laboratório de Ensino (LabEns) se constitui em um espaço fundamental na formação técnico-pedagógica dos iniciantes na carreira.

Nesse sentido, o LabEns sempre teve papel de destaque nas orientações curriculares e no discurso do químico. A ele é associada a ideia de *locus* de práticas experimentais que vêm desde os primórdios da ciência moderna, consagrada pelos princípios empirista-indutivista de Francis Bancon, em que o método experimental era a base para um tipo de conhecimento objetivo e infalível.

Mas o LabEns tem (ou deveria ter) papel diferente daquele do laboratório de pesquisa, porquanto este último é centrado na produção do conhecimento químico original, de modo que há que se diferenciar o caráter propedêutico de uma formação entre o químico pesquisador e o químico professor. O fato é que essa “confusão” de propósitos tem reflexos no papel que se atribui ao LabEns e o que dele se espera. Tal indiferenciação entre a função pedagógica e função epistêmica dos experimentos acaba sedimentando certa (in)compreensão dos formadores e também dos alunos de licenciatura de que a experimentação permite captar e formar jovens cientistas já na educação básica. Muito frequentemente as atividades práticas da química são vistas e recomendadas porque servem como motivação ou um meio de promoção do interesse do aluno nas aulas, com a justificativa de que aumenta a qualidade da aprendizagem, algo visto com muitas limitações.

Assim, as atividades experimentais, fundamentais à formação do químico e à alfabetização científica/química, têm presença forte nos cursos de graduação em Química e são apenas almejadas, infelizmente, no currículo da educação básica. Mas, no currículo dos cursos de graduação em Química, as componentes curriculares são usualmente apresentadas como "teóricas" e "experimentais", sendo as primeiras pré-requisito para as últimas. Via de regra, o objetivo das componentes experimentais envolve a "demonstração" e a "comprovação" de teorias pela via dos experimentos. Nesse modelo de ensino os roteiros das práticas fazem com que praticamente os alunos pouco reflitam acerca dos procedimentos que adotam, dado que o mais importante nesses experimentos é obter um resultado – um conhecido previamente pelos estudantes e pelo professor. Algo que é bastante criticado na literatura (DOMIN, 1999), pois situado no chamado "experimentalismo", no qual a produção do conhecimento seria derivada do método empirista-indutivista.

Atualmente se reconhecem variadas possibilidades no uso do LabEns, a maioria amparada na tese de que o ensino de Ciências precisa contemplar, além dos produtos, os processos da Ciência, ajudando a superar a visão simplista de ensino e aprendizagem centrada na comunicação de teorias, sua memorização e aplicação circunstancial. Cresce o uso do LabEns para o desenvolvimento de habilidades investigativas e de estabelecimento de hipóteses do trabalho científico, que "intervém ativamente nas explicações que os resultados da experiência sugerem, a teoria tem um papel primordial na avaliação dos resultados obtidos" (PRAIA; CACHAPUZ; GIL-PÉREZ, 2002, p. 257).

Nesse âmbito, ganham força propostas de ensino nas quais os estudos investigativos buscam obter respostas às questões que envolvem o aluno em seu dia a dia, não separadas dos determinantes socioculturais tanto dos alunos quanto dos que produzem a ciência. Isso é bem compreensível quando relacionado aos aspectos segurança, que ajudaria na formação de atitudes mais responsáveis, por exemplo, tanto na integridade física dos estudantes quanto do ambiente. Mas experimentos que desrespeitam tais aspectos ou que desconsideram a necessidade de tratar os resíduos gerados, além de serem preferencialmente evitados, precisam ser ensinados já na formação inicial dos químicos. Atividades experimentais programadas com esse tipo de objetivo e cuidados requerem outra racionalidade, que supere a racionalidade técnica em direção a uma racionalidade ambiental e sistêmica. Além de favorecerem a aprendizagem de conceitos e habilidades manipulativas, os experimentos devem propiciar, peremptoriamente, a aprendizagem de atitudes de respeito com o "ambiente" - reflexão sobre o destino dos resíduos gerados no laboratório e uma química mais preventiva e de salvaguarda ambiental, a exemplo da QV.

Como já mencionado, a importância da QV para a segurança química tem sido mencionada e explorada muito genericamente, tanto em práticas laboratoriais de pesquisa como de ensino, ainda que mais recentemente ela seja associada à gestão de resíduos dos laboratórios, inclusive no âmbito da sustentabilidade. Alguns poucos trabalhos têm se situado nesse âmbito da QV associando-se à perspectiva de diferenciação de experimentos

verdes ou mais seguros e limpos ao ambiente, empregando métricas de verdura química – aspectos que serão objetos de aprofundamento mais adiante em nosso livro. Um exemplo desse tipo de emprego é apresentado por Machado (2018), que propõe o emprego dos 12P da QV ao ensino da segurança laboratorial (SL), dado que contém prescrições genéricas, simples e intuitivas que podem dar suporte a esse tipo de estudo nos primeiros anos da graduação e nas escolas da educação básica portuguesa. Apresenta, inclusive, uma hierarquização dos processos de controle de segurança, começando pela eliminação do perigo (em potencial), seguido da substituição do agente até outros tipos de controle, como o administrativo (mudanças de métodos de trabalho). É nesse contexto da SL que emerge a proposta da EV enquanto métrica gráfica para expressão da verdura química de atividades laboratoriais baseadas na QV. Primeiramente proposta na Universidade do Porto, a EV tem se difundido para diversos contextos (DUARTE; RIBEIRO; MACHADO, 2014; RIBEIRO; YUNES; MACHADO, 2014).

É com esse propósito que organizamos este livro, oportunizando um repensar de atividades experimentais desenvolvidas em LabEns, das disciplinas de Química Orgânica Experimental I, Química Inorgânica Experimental I, Físico-Química Experimental I e Química Analítica Experimental I dos cursos de Química da Universidade Federal de Santa Catarina. Embora esses experimentos sejam provenientes das apostilas de disciplinas da UFSC, a maioria deles é tradicionalmente ensinada em cursos de graduação em Química, de forma que a análise aqui realizada pode ser proveitosa para outros contextos.

O objetivo dessa análise é investigar se as práticas experimentais desenvolvidas nessas disciplinas introdutórias ao laboratório nas principais áreas da Química (Orgânica, Inorgânica, Físico-Química e Analítica) negligenciam a componente ambiental e de segurança laboratorial, inerente ao desenvolvimento da química, no processo de formação dos iniciantes em química. A revisão desses experimentos em âmbito virtual-teórico, todavia, não visa substituir as atividades manipulativas e procedimentais do laboratório físico. A importância desse formato na formação do químico e ao ensino da Química é evidente, todavia, são necessárias mudanças substanciais nas perspectivas em sua utilização, especialmente quando se tem como princípio praticar uma química mais segura ao ambiente e aos seres vivos, por vezes muito difícil devido ao uso de procedimentos e substâncias (altamente) perigosas.

Nesse sentido, os capítulos seguintes introduzem conceitos básicos para discutir os perigos inerentes às atividades químicas e como avaliá-los. No capítulo 2, apresentamos discussões sobre parâmetros e critérios padronizados para identificação e comunicação de perigos dos produtos e processos químicos. No capítulo 3, esse sistema padronizado é usado numa métrica holística de avaliação da verdura química, a Estrela Verde. Nos capítulos 4, 5, 6 e 7 relatamos as EV de atividades experimentais desenvolvidas nos laboratórios de ensino nas áreas de Orgânica, Inorgânica, Físico-Química e Química Analítica, respectivamente.

SEGURANÇA QUÍMICA: SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO E COMUNICAÇÃO DE PERIGOS

Santiago Francisco Yunes

Carlos Alberto Marques

Identificar, classificar e rotular são atividades inerentes à organização e ao desenvolvimento da vida humana, nos mais diversos ramos do saber. O mesmo aconteceu com os produtos químicos. Nestes casos, seria impossível imaginar a química sem que houvesse um sistema capaz de diferenciar os inúmeros componentes de uma reação (reagentes, substâncias auxiliares e produtos). Nos dias atuais temos um número enorme de compostos químicos: mais de 80 milhões de substâncias são usadas apenas nos Estados Unidos (AMERICAN CHEMICAL SOCIETY, 2017), sendo por isso mesmo impossível e insuficiente caracterizá-los apenas pelo seu nome comum.

Portanto, a nomenclatura e classificação química são fundamentais, a partir das quais se constituiu, desde os primórdios da química, um complexo e, ao mesmo tempo, facilitador sistema de rotulagem para incorporar as várias indicações relacionadas às propriedades físicas e químicas, perigos, sistema de armazenamento, grupos funcionais, entre outras importantes informações dos produtos químicos. Algo que tem evoluído ao longo dos tempos. É importante recordar que esses sistemas cumprem papel não somente na diferenciação dos produtos químicos, mas também servem para que a sociedade saiba reconhecê-los e sobre como devem agir em caso de exposição, direta ou indireta, aos inúmeros compostos químicos comercializados, especialmente os de origem sintética (pesticidas, produtos de limpeza, aditivos alimentares, insumos farmacológicos, etc.).

Para diminuir os riscos de acidentes com produtos químicos, vários países têm criado organizações e legislações próprias que envolvem sua classificação, categorização e rotulagem, a exemplo da agência *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) nos EUA, do *Canadian Centre for Occupational Health and Safety* (CCOHS) e do regulamento europeu *Registration, Evaluation, Autorisation and restriction of Chemicals* (REACH). A adoção do Sistema Globalmente Harmonizado para a Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos (GHS para a sigla em inglês, *Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals*) no Brasil está descrita na Portaria n° 229 de 24 de maio de 2011, que altera a Norma Regulamentadora 26 (NR 26) do Ministério do Trabalho e Emprego, publicada no dia 27 de maio pelo Diário Oficial da União, exigindo a classificação, rotulagem e a Ficha de Informação de Segurança para Produtos Químicos (FISPQ) de acordo com o sistema GHS, seguindo modelo estabelecido pela norma técnica

oficial vigente, que, atualmente, é definido no Brasil pela Norma Brasileira NBR 14725 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Com os mercados econômicos mais globalizados, o comércio de produtos químicos ultrapassou as fronteiras locais e nacionais. Consequentemente, os trabalhadores envolvidos com a utilização de produtos químicos, seja na área de produção, manuseio, armazenamento, transporte e comercialização, veem-se expostos às substâncias perigosas, colocando em risco sua segurança e sua saúde, bem como a de terceiros e o meio ambiente. Entretanto, como vários países não possuem legislação própria sobre esse assunto, foi necessário que se desenvolvesse um programa internacional para garantir a utilização, transporte e disposição segura dos produtos químicos, denominado Programa Interorganizacional para a Gestão Segura de Produtos Químicos (IOMC), o qual configurou e deu origem ao GHS. As ações para criar o GHS tiveram início em 1992 no âmbito da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, conhecida como Rio-92 ou Eco-92, por meio do documento Agenda 21 (UNITED NATIONS, 1992).

Tal sistema, como o próprio título se refere, envolve a rotulagem, armazenamento, circulação e classificação de produtos químicos. O documento do GHS é conhecido como Livro Púrpura (*Purple Book*) e é composto por requisitos técnicos de classificação e de comunicação de perigos, com informações explicativas sobre como aplicar o sistema. O GHS está disponível oficialmente em inglês, francês e espanhol.[1] Todavia, é bom frisar que o GHS não é uma regulamentação e não tem caráter compulsório, sendo que sua adoção pelos países se dá de forma voluntária. No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) se fundamentou no GHS para lançar em 2009 a norma ABNT NBR 14725 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009, 2014, 2017, 2019).

O fato é que o GHS é um mecanismo e instrumento eficiente para atender às exigências básicas de comunicação, que permite a quem manuseia certo produto químico (fabricado ou fornecido) decidir se ele é perigoso, bem como classificá-lo quanto a sua periculosidade. A materialização disso se dá na forma de um rótulo e de uma (FISPQ), internacionalmente conhecida como *Safety Data Sheet*[2] (SDS) ou *Material Safety Data Sheets*[3] (MSDS).

1 I SEGURANÇA QUÍMICA E O ENSINO DE QUÍMICA

Há muitas vantagens e oportunidades com aplicação do GHS na segurança do laboratório de ensino, especialmente o aumento de segurança (HILL, 2016, 2020; HOFFMAN; DICKS, 2020; O'NEIL *et al.*, 2020). Mas também sua aplicação impõe desafios e barreiras que precisam ser superados, que invariavelmente são negligenciados devido a

1 Você pode conferir o livro do GHS (UNITED NATIONS, 2019) em https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/ghs/ghs_rev08/ST-SG-AC10-30-Rev8e.pdf.

2 Ficha de dados de segurança.

3 Ficha de dados de segurança de materiais.

maus hábitos, falta de formação e deficiência de estruturas laboratoriais. Outro problema é a dificuldade de classificação de produtos químicos em relação aos efeitos à saúde (toxicidade), em que as discrepâncias parecem frequentes.

Outro fator a se considerar é a ocorrência de acidentes em laboratórios universitários no Brasil. Em 2010, um estudante sofreu queimaduras no braço e ferimentos no rosto após uma explosão em um laboratório da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG, 2010). Em 2016, um incêndio seguido de uma pequena explosão ocorreu durante a madrugada em um laboratório da Universidade Federal de Juiz de Fora (G1 ZONA DA MATA, 2016). No ano de 2017, uma servidora foi atingida por ácidos e estilhaços de vidros, devido à explosão de um laboratório na Universidade Federal Fluminense (SINTUFF, 2017). No dia 15 de agosto de 2018, três pessoas ficaram feridas (uma estudante teve 20% do corpo queimado) após uma explosão em um laboratório da Universidade Federal do Rio de Janeiro (O GLOBO, 2018).

Esses fatos demonstram a necessidade de se problematizar a segurança das atividades nos laboratórios de ensino e investigação. A segurança desses espaços deve ser considerada no currículo de graduação, como, por exemplo, nos cursos de Química. Inserir um programa de segurança laboratorial nos currículos dos cursos de Química contribui para aumentar a base de conhecimentos e experiências dos estudantes, possibilitando-lhes trabalhar de modo seguro com produtos químicos, pois a compreensão de trabalho seguro no laboratório é uma habilidade necessária para um químico, que pode ser construída em disciplinas específicas sobre segurança ou na incorporação de conceitos associados a esse tema em outras disciplinas. Assim, o armazenamento e manuseio adequado de produtos químicos, a rotulagem correta, a gestão de resíduos perigosos e a manutenção de equipamentos de proteção são conteúdos importantes de serem promovidos na formação. Conforme sintetizam Mendes Sandri e Santin Filho (2017, p. 113), “não basta fazer reduções ou substituições de reagentes ao acaso, ou mesmo buscar valer-se de materiais de uso comum para tornar os experimentos mais seguros, mas faz-se necessária uma avaliação sistemática das propostas experimentais”.

Hill (2020) traz vários argumentos sobre a importância da educação em segurança de produtos químicos:

- A educação sobre segurança e riscos dos produtos químicos está ausente nos currículos e os alunos só se dão conta dessa falta quando chegam ao mercado de trabalho.
- A educação sobre segurança e riscos dos produtos químicos é um dever ético com a segurança dos alunos, dos profissionais químicos e da população em geral.
- A American Chemical Society (ACS) recomenda a inclusão do tópico nos currículos.

- A falta de conhecimentos sobre procedimentos de segurança é causa de acidentes graves dentro e fora das instituições de ensino.
- Conhecimentos sobre segurança e riscos dos produtos são úteis na vida cotidiana, já que lidamos com produtos químicos diariamente.
- A segurança de produtos químicos é parte do rol de conhecimentos da Química, esperando-se que os alunos saibam explicar quimicamente os perigos de uma substância e as medidas de segurança necessárias para o seu uso e manuseio.

Esses quadros de referência, como o GHS e as FISPQ, são importantes para um desempenho eficaz de uma prática verde. Como já discutimos, a QV pretende diminuir ou eliminar os riscos intrínsecos das substâncias e processos químicos, sendo que as FISPQ e o GHS apresentam elementos objetivos que podem ser usados como fontes de informações para construir instrumentos que nos levem a indicar se uma prática é segura ou verde. Entender a estrutura desses dispositivos, suas informações e seus limites é indispensável para uma educação sobre segurança dos produtos químicos.

Como nosso objetivo aqui é fornecer uma descrição prática, dirigida a professores e a alunos de química sobre como usar as informações do GHS, bem como os riscos físicos, químicos e ambientais, assim como dados quanto à degradabilidade e toxicidade transmitidas nos rótulos e nas FISPQ, apresentamos a seguir, brevemente, a classificação de perigos, símbolos de perigo (pictogramas) e palavras de sinalização e declarações de precaução e perigo fornecidas pelas fichas. Iremos nos fundamentar na NBR 14725, da ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009, 2014, 2017, 2019), intitulada “Produtos químicos - Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente”, dividida em suas quatro partes: 1) Terminologia; 2) Sistema de classificação de perigo; 3) Rotulagem; 4) Ficha de informações de segurança de produtos químicos (FISPQ).

2 I ELEMENTOS DA CLASSIFICAÇÃO E COMUNICAÇÃO DE PERIGOS

A regulamentação do GHS propõe critérios harmonizados para classificar substâncias puras e misturas de acordo com seus perigos intrínsecos, que são divididos em três gêneros: Perigos Físicos, Perigos à Saúde Humana e Perigos ao Meio Ambiente. Para cada um dos riscos, físicos, de saúde e ambientais, a natureza do perigo é subdividida em classes de perigo e essas classes são subdivididas em várias categorias, apresentadas em Quadro 2.1(perigos físicos), Quadro 2.2 (perigos à saúde) e Quadro 2.3(perigos ao meio ambiente).

Classes de perigo Físico	Categorias de perigo	
Explosivos	Explosivos instáveis	
	Divisões 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6	
Gases inflamáveis	Categoria 1A	Gás inflamável
		Gás pirofórico
		Gás quimicamente instável (A e B)
	Categoria 1B	
	Categoria 2	
Aerossóis e substâncias sob pressão	Categorias 1, 2, 3	
Gases oxidantes	Categoria 1	
Gases sob pressão	Gases comprimidos	
	Gases liquefeitos	
	Gases líquidos refrigerados	
	Gases dissolvidos	
Líquidos inflamáveis	Categorias 1, 2, 3, 4	
Sólidos inflamáveis	Categorias 1, 2	
Substâncias e misturas autorreativas	Tipo A	
	Tipo B	
	Tipos C e D	
	Tipos E e F	
	Tipo G	
Líquidos pirofóricos	Categoria 1	
Sólidos pirofóricos	Categoria 1	
Substâncias e misturas suscetíveis de autoaquecimento	Categorias 1, 2	
Substâncias e misturas que libertam gases inflamáveis em contato com água	Categorias 1, 2, 3	
Líquidos oxidantes	Categorias 1, 2, 3	
Sólidos oxidantes	Categorias 1, 2, 3	
Peróxidos orgânicos	Tipo A	
	Tipo B	
	Tipos C e D	
	Tipos E e F	
	Tipo G	
Substâncias e misturas corrosivas para os metais	Categoria 1	
Explosivos dessensibilizados **	Categorias 1, 2, 3 e 4	

Nota: **: Essa classe de Explosivos dessensibilizados foi incluída na 6ª edição revisada do GHS, mas não aparece na versão revisada da NBR 14725-3:2017 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017).

Quadro 2.1 – Classes e categorias de perigos físicos

Fonte: Adaptado do GHS (UNITED NATIONS, 2019).

O Quadro 2.1 mostra as 17 classes de perigos físicos e suas categorias

constituintes. Essa classificação aparece com algumas diferenças na NBR 14725-3, em que, por exemplo, os Explosivos dessensibilizados são uma classe no GHS contando com três códigos distintos de perigos físicos (H206, H207 e H208), mas a NBR 14725-3:2017 não apresenta nem essa classe nem os códigos mencionados. Nos materiais em Anexos e Apêndices consideramos as informações mais atuais, da 8ª edição do GHS (UNITED NATIONS, 2019).

Classes de perigo à Saúde	**Categorias de perigo**
Toxicidade aguda	Categorias 1, 2, 3, 4, 5 (oral)
	Categorias 1, 2, 3, 4, 5 (cutânea)
	Categorias 1, 2, 3, 4, 5 (inalação)
Corrosão/irritação cutânea	Categorias 1 (1A, 1B e 1C), 2, 3
Lesões oculares graves/irritação ocular	Categorias 1 e 2 (2A e 2B)
Sensibilização respiratória	Categorias 1, 1A, 1B
Sensibilização da pele	Categorias 1, 1A, 1B
Mutagenicidade em células germinativas	Categorias 1, 1A, 1B, 2
Carcinogenicidade	Categorias 1, 1A, 1B, 2
Toxicidade à reprodução e lactação	Categorias 1, 1A, 1B, 2
	Categoria adicional sobre efeitos sobre/ através da lactação
Toxicidade sistêmica para órgão-alvo específico por exposição única	Categorias 1, 2, 3
Toxicidade sistêmica para órgão-alvo específica por exposição repetida	Categorias 1, 2
Perigo por aspiração	Categorias 1, 2

Quadro 2.2 – Classes e categorias de perigos à saúde

Fonte: Adaptado do GHS (UNITED NATIONS, 2019).

O Quadro 2.2 mostra as 11 classes de perigos à saúde e suas respectivas categorias. Essas classificações são mostradas na NBR 14725, em sua parte 2 e 3.

Classes de perigo ao Meio Ambiente	**Categorias de perigo**
Perigoso para o meio ambiente aquático agudo	Agudo 1
	Agudo 2
	Agudo 3
Perigoso para o meio ambiente aquático crônico	Crônico 1
	Crônico 2
	Crônico 3
	Crônico 4
Perigo para a camada de ozônio	Categoria 1

Quadro 2.3 – Classes e categorias de perigos ao meio ambiente

Fonte: Adaptado do GHS (UNITED NATIONS, 2019).

Além de propor uma classificação para os perigos, o GHS também aborda elementos harmonizados para comunicação de riscos, como padronização de rótulos e FISPQ, símbolos de perigo, palavras de advertência, declaração de perigo e declaração de precaução.

Um pictograma de perigo é uma composição gráfica que pode usar um símbolo de perigo em conjunto com outras composições gráficas, como cores, bordas e padrões de fundo para transmitir informações. Na Figura 2.1, são apresentados os pictogramas do GHS e as classes e categorias de perigo às quais são atribuídos.

Bomba explodindo	Chama	Chama sobre círculo
		
Substâncias e misturas explosivas	Substâncias e misturas inflamáveis	Substâncias e misturas oxidantes
Cilindro de gás	**Corrosão**	**Crânio e ossos cruzados**
		
Gases pressurizados	Substâncias e misturas corrosivas	Substâncias e misturas tóxicas

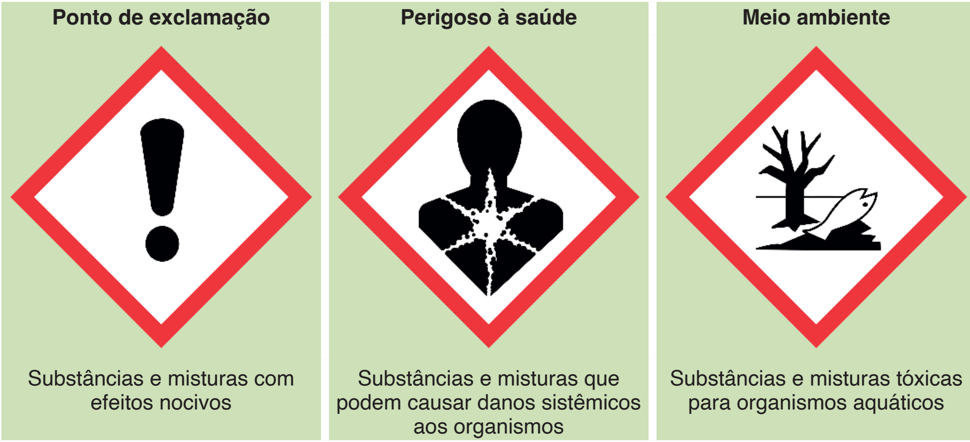


Figura 2.1 – Pictogramas do GHS e classes e, em parênteses, subclasses de perigo

Fonte: Adaptado do GHS (UNITED NATIONS, 2019).

No Brasil, os pictogramas no formato do GHS são adotados em FISPQ e rótulos de substâncias, mas para transporte de substâncias perigosas são usadas sinalizações propostas pela ONU (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017). Os dois pictogramas podem ser visualizados em Anexo A, Anexo B e Anexo C.

As frases de perigo são representadas por códigos, compostos por uma letra H (de *hazard*) e uma sequência numérica que inicia com algarismo indicando o tipo de perigo (2 para riscos físicos, 3 para saúde e 4 para riscos ambientais), seguido por dois números correspondentes à numeração sequencial de perigos dentro da classe, conforme exemplificado na Figura 2.2. Frases de perigo adicionais, representadas por códigos de perigo compostos pelas letras EUH e um número, são usadas em países da União Europeia (EU). O código de perigo (alfanumérico) não deve ser usado para substituir a declaração de perigo, sua contraparte textual.

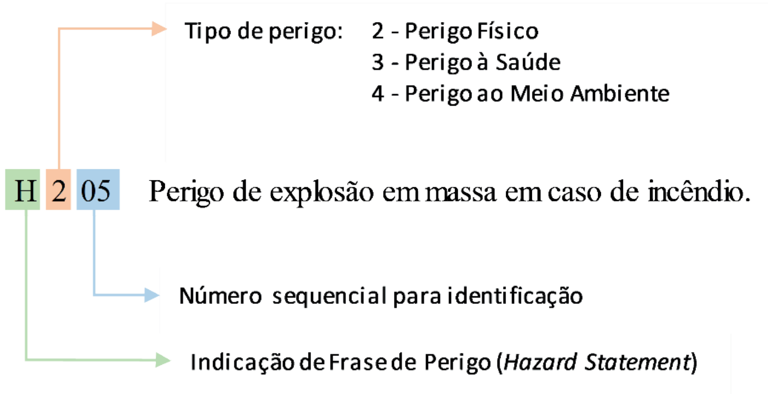


Figura 2.2 – Estrutura das frases de perigo e seus códigos

Fonte: Adaptado do GHS (UNITED NATIONS, 2019).

Enquanto as frases de perigo informam sobre a natureza ou classe dos perigos, as palavras de advertência informam sobre a extensão dos danos, alertando o usuário sobre a menor ou maior gravidade do perigo. A palavra “perigo” denota a maior gravidade, já “atenção” ou “cuidado” são intercambiáveis e denotam menor gravidade.

As frases de precaução dão informações sobre o manejo e controle das substâncias e misturas (Figura 2.3). Cada frase é composta pela letra P (de *precautionarystatement*) e um número indicando seu caráter geral (1), de prevenção (2), de resposta à emergência (3), para armazenamento (4) e para disposição (5). Outros dois dígitos especificam as ações a serem tomadas.

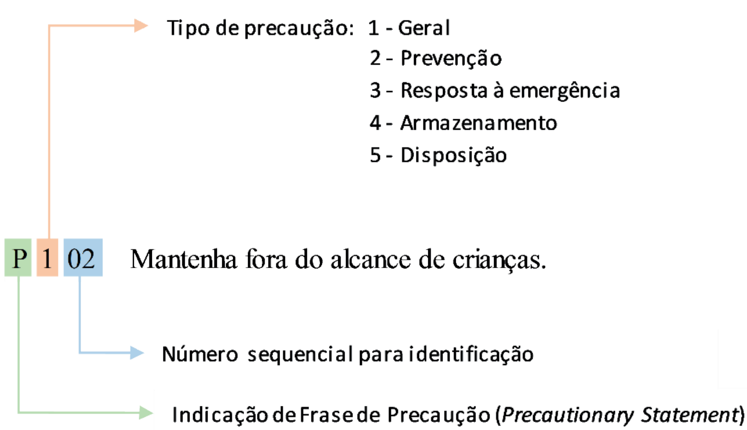


Figura 2.3 – Estrutura das frases de precaução e seus códigos

Fonte: Adaptado do GHS (UNITED NATIONS, 2019).

O GHS funciona como quadro de referência para padronizar a classificação e comunicação de perigos, mas não fornece informações sobre os perigos de substâncias e misturas específicas. Isso fica disponibilizado nas FISPQ, um documento que fornece informações sobre substâncias ou misturas, quanto à proteção, à segurança, à saúde e ao meio ambiente. Esse documento, normatizado pela NBR 14725-4 com base no GHS, deve ser disponibilizado pelo fornecedor do produto químico e serve como referência para que usuários façam uso, manejo e descarte seguro dos produtos químicos.

Os elementos indispensáveis de uma FISPQ são (UNITED NATIONS, 2019):

1. Identificação do produto e da empresa
2. Identificação de perigos
3. Composição e informações sobre os ingredientes
4. Medidas de primeiros-socorros
5. Medidas de combate a incêndio
6. Medidas de controle para derramamento ou vazamento
7. Manuseio e armazenamento
8. Controle de exposição e proteção individual
9. Propriedades físicas e químicas
10. Estabilidade e reatividade
11. Informações toxicológicas
12. Informações ecológicas
13. Considerações sobre tratamento e disposição
14. Informações sobre transporte
15. Regulamentações
16. Outras informações

Na seção 2 da FISPQ é onde aparece a maior parte das informações padronizadas pelo GHS, como símbolos de perigo, palavras de advertência, frases de perigo e frases de precaução. As seções 4, 5 e 6 abordam procedimentos de reação a acidentes, como primeiros-socorros, combate a incêndios e como lidar com derramamentos e vazamentos. As seções 7 e 8 são bastante importantes para estudantes e demais profissionais que lidam com substâncias químicas, pois listam as formas apropriadas e perigosas de manusear os produtos, inclusive listando os equipamentos de proteção individual (EPI) necessários. De 9 a 12, as seções apresentam os detalhes dos perigos ambientais, físicos e para a saúde. É uma seção que complementa e explica as classificações e símbolos da seção 2. As seções 13 e 14 falam sobre armazenamento e transporte. Convém ressaltar que todas as seções devem ser claramente separadas e preenchidas. Somente a seção 16, Outras Informações, pode ser deixada em branco. Nas demais seções, caso faltem informações,

isso deve ser explicitamente declarado.

A FISPQ apresenta informações mais detalhadas sobre os perigos de uma substância ou mistura, mas também sobre sua procedência e medidas para seu manejo e descarte. É possível relacionar as informações disponibilizadas por esses dois instrumentos, conforme Quadro 2.4.

Elementos do rótulo	Seções da FISPQ
Identificação do produto e telefone de emergência do fornecedor	1 Identificação do produto e da empresa
Composição química	3 Composição e informações sobre os ingredientes
Pictograma de perigo	2 Identificação de perigos 14 Informações sobre transporte
Palavra de advertência	2 Identificação de perigos
Frase de perigo	2 Identificação de perigos
Frase de precaução	2 Identificação de perigos
Outras informações	Outras informações disponíveis na FISPQ

Quadro 2.4 – Correlação entre as informações da FISPQ e da rotulagem de produto químico perigoso

Fonte: Adaptado de ABNT (2017).

Os anexos apresentam a lista completa das frases de perigo (Anexo D e Anexo F) e precaução (Anexo E e Anexo F), bem como as classes, categorias e pictogramas de perigo (Anexo A, Anexo B e Anexo C). Decidiu-se incluir também os pictogramas comumente chamados de etiquetas nos regulamentos de transporte (Anexo A, Anexo B e Anexo C), prescritos pelo Livro Laranja da ONU, *Recommendations on the transport of dangerous goods - Model regulations*[4] (UNITED NATIONS, 2011), porque esses pictogramas podem ser confundidos por professores e alunos com os pictogramas do GHS.

Neste capítulo, destacou-se a importância do conhecimento dos perigos das substâncias químicas para prevenção de acidentes e para a análise e avaliação da verdura química de atividades experimentais. O GHS oferece uma importante sistematização para comunicar e identificar os perigos de substâncias e misturas, podendo ser utilizado como parâmetro para a criação de métricas semiqualitativas, como a EV. Nesse sentido, o próximo capítulo aborda o processo de construção dessa métrica, adaptada aos critérios do sistema GHS para pontuação dos perigos das substâncias.

4 "Recomendações sobre o Transporte de Bens Perigosos – Regulações-modelo", em tradução livre.

ESTRELA VERDE: UMA MÉTRICA HOLÍSTICA

Leonardo Victor Marcelino

Patricia Link Rüntzel

O que vem a serem “práticas químicas” verdes e como certificá-las como tal? Essas questões conduzem ao desenvolvimento de métricas adequadas como a que aqui será exposta. O desenvolvimento de novas métricas não foi algo simples do ponto de vista técnico, tampouco sua consequente adoção entre os químicos em geral. Constable, Jiménez-González e Anastas (2018) relatam que, em seu início, a QV enfrentou resistência dos químicos, que não viam oportunidades de inovação ou avanços científicos significativos nas práticas verdes. Essa visão foi reforçada nos anos iniciais pela falta de clareza sobre o que seria uma prática verde e de quais indicadores ou valores poderiam atestar e mensurar essa verdura química, ou seja, a falta de métricas apropriadas. Como o próprio termo já diz, métricas são uma forma de mensurar, são medidas quantificáveis usadas para analisar o resultado de um processo ou ação.

Uma métrica deve ser claramente definida, simples de usar, mensurável, baseada em indicadores objetivos e conduzir a um comportamento. Como toda métrica faz mensurações com algum objetivo e tem uma visão de mundo definida, seja reduzir os custos ou o impacto ambiental, é necessário considerar as várias métricas, produzindo uma avaliação plural e mais completa. Por exemplo, não é porque um processo usa catalisadores que ele seja mais verde, pois o catalisador pode ser escasso, envolver procedimentos perigosos em sua extração e purificação ou mesmo ser tóxico. Também, o fato de uma síntese ser mais ambientalmente benigna não significa que ela seja economicamente viável ou culturalmente aceitável. Essas múltiplas dimensões de um processo químico devem ser consideradas na seleção e aplicação de métricas coerentes. Esse é um processo complexo, que demanda formação de profissionais para trabalhar com o conhecimento já produzido e para avançar ainda mais o campo. Algo que tem avançado significativamente nesses últimos tempos.

No ensino,[1] as métricas são vistas como um meio de trazer objetividade para a análise de verdura química, criando uma linguagem matemática, precisa e de uso geral, que pode ser ensinada aos alunos. As métricas também funcionam como recursos e subsídios para que os alunos possam estabelecer uma posição crítica frente à QV, analisando os *trade-offs* (escolhas) entre diferentes propostas verdes. Mostrar aos alunos diferentes métricas, seus objetivos e seus limites pode contribuir para que os alunos reflitam de forma sistêmica sobre os processos químicos, avaliando os seus impactos em várias dimensões.

1 Alguns trabalhos têm discutido as métricas no ensino de Química (conf. ANDRAOS; SAYED, 2007; HUDSON *et al.*, 2016; ARMSTRONG et al., 2018; LAM *et al.*, 2019).

Métricas têm sido utilizadas na indústria química há mais de dois séculos, como meio de avaliar a eficiência dos processos. Tradicionalmente, a química usa métricas de seletividade, velocidade de reação e, a mais comum, de rendimento. No entanto, o rendimento fornece pouca informação sobre a benignidade ou eficiência de um processo. Essa métrica não leva em consideração o excesso de um dos reagentes para deslocar equilíbrio, o uso de aquecimento, agitação, catalisadores, grupos protetores e outros processos e meios auxiliares que sejam necessários para a síntese. Por isso, motivadas por preocupações com os impactos ambientais da química, diversas métricas ambientais e de sustentabilidade têm sido propostas desde o fim da década de 1980 para fornecer dados sistematizados sobre o impacto dos produtos químicos e orientar a tomada de decisão, tanto por agências governamentais, quanto por cientistas e engenheiros.

Em 1991, Barry Trost (1991) propôs a métrica Economia Atômica (AE), que avalia quantos átomos de reagentes são incluídos na molécula do produto desejado. Contudo, essa métrica não é a mais adequada para medir a geração de resíduos ou gasto de energia, pois não considera a cinética da reação e a necessidade de reagentes em excesso, por exemplo; mas é uma métrica que funciona bem para o design de sínteses teóricas. No início da década de 1990, Roger Sheldon (1994, 2017) propôs o E-Factor, uma avaliação relativa à proporção entre a massa de resíduos e a massa de produto gerado. Ainda que tenha desempenhado grande papel em mostrar a extensão da geração de resíduos e ineficiência dos processos químicos, essa métrica não foi largamente adotada pela indústria ou pelos químicos. Não obstante, a definição de resíduos é vaga e pode levar a resultados bastante diferentes, dependendo do que se considera resíduo em um processo químico.

Outro ponto importante a ser considerado é que nem todos os resíduos têm o mesmo impacto no ambiente. Uma tonelada de água como rejeito tem um impacto, no mínimo, distinto de uma tonelada de gás carbônico. A primeira métrica a se atentar para isso foi a de Rendimento de Massa Efetivo, que exprime a porcentagem de massa de produto desejado pela massa de materiais não benignos usados na síntese (conf. HUDLICKY *et al.*, 1999). Contudo, o problema é justamente a definição de não benigno, já que o risco de uma substância não é só definido pela sua periculosidade intrínseca, mas também pelo nível de exposição. Ou seja, uma solução diluída sendo descartada em um ecossistema por período de tempo prolongado pode acarretar desastres ambientais. Essa é a crítica feita por Thornton (2000) aos paradigmas do Risco e da Diluição, que consideram que há um nível tolerável de poluição, mas desconsideram a concentração das substâncias pela cadeia alimentar, a bioacumulação e os efeitos sinérgicos de poluentes, em particular no ambiente.

As métricas comentadas acima acabam se voltando mais para a síntese em si e não deixam claro quais etapas do processo deveriam ser incluídas na avaliação. As métricas de processo abordam esse problema, como a Intensidade de Massa do Processo, que avalia a massa de todos os componentes (reagentes, catalisadores, solventes, etc.)

usados na transformação e isolamento de um produto, dividida pela massa de produto gerado. Invertendo os elementos da divisão, temos a Intensidade de Massa, uma métrica de eficiência do processo, que fornece um indicativo de quanto produto é gerado por quilo de material usado. Essas métricas de processo têm sido bastante usadas por empresas farmacêuticas.

Tentativas de harmonizar diversas métricas ou construir uma métrica holística para os processos químicos também têm sido realizadas nos últimos anos. Andraos (2006), por exemplo, tem trabalhado com a Análise de Árvores de processos químicos, aliando métricas de eficiência de massa, de impactos à saúde, segurança, custos, etc. O autor também propõe tabelas que facilitam o processo de avaliação e podem ser usadas em atividades de ensino.[2]

As métricas descritas acima trouxeram grandes contribuições para pensar e avaliar o impacto das práticas químicas. No entanto, avaliar o quão verde é um processo é bastante complicado, já que a QV aborda a minimização dos resíduos, a diminuição da periculosidade intrínseca e a eficiência energética, como exposto em seus 12P (conf. Figura 1.1). As métricas acima, e tantas outras propostas, têm objetivos específicos e não são direcionadas especificamente para avaliar a verdura química, ainda que haja alguma relação com os 12P, conforme apresentado no Quadro 3.1. Existem várias métricas descritas para objetivos bem similares, como avaliar a formação de resíduos, sem haver consenso sobre qual é a mais adequada para avaliar a verdura química. Assim, para avaliar o grau de verdura química de um processo, seria necessário selecionar várias métricas distintas, para atender à mensuração dos vários objetivos da QV, o que pode acarretar diferentes resultados, dependendo do conjunto de métricas selecionados, dificultando a comunicação sobre os riscos dos processos e a tomada de decisão. Por isso, é necessário adotar uma métrica holística que possibilite avaliar o alcance dos vários objetivos da QV, o que é a proposta da EV.

2 Você pode conferir outros trabalhos do autor sobre o assunto (ANDRAOS, 2005; ANDRAOS; SAYED, 2007; MERCER; ANDRAOS; JESSOP, 2012; ANDRAOS; HENT, 2015).

Dimensão da avaliação	Natureza da avaliação	Princípios avaliados	Exemplos de Métricas
Massa	Quantitativa	P1 e P2	Fator E Economia Atômica (EA) Eficiência de Massa da Reação (RME e ME)
Energia	Quantitativa	P6	Intensidade de Energia (EI) Intensidade de Tempo (TI) Taxa de Transferência (Throughput – Th)
Ambiente	Qualitativa/ descritiva	P3, P5, P7, P8, P9, P10 e P12	Toxicidade Biodegradação Perigos Renovabilidade
Holística	1 Semiqualitativa 2 Qualitativa / descritiva	Todos, exceto P4 e P11	1 Estrela Verde 2 Matriz Verde

Quadro 3.1 – Comparação entre diversas métricas, suas naturezas e abrangência de Princípios da QV

Fonte: dados da pesquisa.

O Quadro 3.1 apresenta alguns exemplos de métricas usadas na Química e QV, algumas já apresentadas no início deste Capítulo. Essas métricas possuem diferentes dimensões, ou objetivos, focalizando a eficiência de massa, eficiência energética ou impactos ambientais. São poucas as métricas que apresentam essas dimensões de forma integrada, holística, sendo que apresentamos a EV e a Matriz Verde como exemplos no quadro acima. Nas seções seguintes, apresentaremos a métrica EV e os procedimentos usados para calculá-la até em sala de aula.

1 I A MÉTRICA HOLÍSTICA ESTRELA VERDE: CRITÉRIOS E ESCALAS

A EV é uma métrica qualitativa que aborda o máximo possível dos 12P na avaliação da verdura química, construindo uma representação gráfica que permite comparar facilmente a verdura química dos processos. Essa métrica parte da ideia de que os 12P formam um sistema, um conjunto interligado de elementos, e que ao se alterar um Princípio, incluindo um catalisador, por exemplo, influenciam-se outros princípios, como a economia atômica ou eficiência energética. A métrica gera um gráfico radial na forma de uma estrela em que cada ponta (ou vértice) representa um princípio, sendo o seu tamanho proporcional à segurança ou verdura química daquele princípio. Quanto maiores os vértices, maior a área da estrela e, portanto, maior a verdura do processo.

Dentre os 12P, dois deles são mais direcionados ao design de rotas sínteses novas, a saber, o princípio 4 e o 11. Como as atividades de ensino não têm foco na criação de novos processos sintéticos, esses princípios foram retirados da EV. Assim, a **Tabela 3.1** apresenta os 10 princípios avaliados na EV e os critérios para avaliar a verdura de cada um deles. Para cada princípio é atribuído um valor numérico, sendo que 1 representa a menor verdura e 3 representa a verdura máxima.

Princípios da Química Verde	Critérios	Perigo (P)	Verdura Química (V)
P1 – Prevenção	Todos os resíduos são inócuos	1	3
	Formação de pelo menos um resíduo que envolva perigo moderado para a saúde e ambiente	2	2
	Formação de pelo menos um resíduo que envolva perigo elevado para a saúde e ambiente	3	1
P2 - Economia atômica	Reações sem reagentes em excesso (≤10%) e sem formação de coprodutos	1	3
	Reações sem reagentes em excesso (≤10%) e com formação de coprodutos	2	2
	Reações com reagentes em excesso (>10%) e sem formação de coprodutos	2	2
	Reações com reagentes em excesso (>10%) e com formação de coprodutos	3	1
P3 – Sínteses menos perigosas	Todas as substâncias envolvidas são inócuas	1	3
	As substâncias envolvidas apresentam perigo moderado para a saúde e ambiente	2	2
	Pelo menos uma das substâncias envolvidas apresenta perigo elevado para a saúde e ambiente	3	1
P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	Os solventes e as substâncias auxiliares não existem ou são inócuos	1	3
	Os solventes e as substâncias auxiliares usadas envolvem perigo moderado para a saúde e ambiente	2	2
	Pelo menos um dos solventes ou uma das substâncias auxiliares usadas envolve perigo elevado para a saúde e ambiente	3	1
P6 – Planificação para conseguir eficácia energética	Temperatura e pressão ambientais	1	3
	Pressão ambiental e temperatura entre 0ºC e 100ºC que implique arrefecimento ou aquecimento	2	2
	Pressão diferente da ambiental e/ou temperatura > 100 ºC ou menor do que 0 ºC	3	1
P7 – Uso de matérias-primas renováveis	Todos os reagentes/matérias-primas envolvidos são renováveis	1	3
	Pelo menos um dos reagentes/matérias-primas envolvidos é renovável, não se considera a água	2	2
	Nenhum dos reagentes/matérias-primas envolvidos é renovável, não se considera a água	3	1

P8 – Reduzir derivatizações	Sem derivatizações ou com uma etapa	1	3
	Usa-se apenas uma derivatização ou duas etapas	2	2
	Usam-se várias derivatizações ou mais do que duas etapas	3	1
P9 – Catalisadores	Não se usam catalisadores ou os catalisadores são inócuos	1	3
	Utilizam-se catalisadores que envolvem perigo moderado para a saúde e ambiente	2	2
	Utilizam catalisadores que envolvem perigo elevado para a saúde e ambiente	3	1
P10 – Planificação para a degradação	Todas as substâncias envolvidas são degradáveis com os produtos de degradação inócuos	1	3
	Todas as substâncias envolvidas que não são degradáveis podem ser tratadas para obter a sua degradação com os produtos de degradação inócuos	2	2
	Pelo menos uma das substâncias envolvidas não é degradável nem pode ser tratada para obter a sua degradação com produtos de degradação inócuos	3	1
P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	As substâncias envolvidas apresentam perigo baixo de acidente químico (considerando os perigos para a saúde e perigos físicos)	1	3
	As substâncias envolvidas apresentam perigo moderado de acidente químico (considerando os perigos para a saúde e perigos físicos, e sem substâncias com p=3)	2	2
	As substâncias envolvidas apresentam perigo elevado de acidente químico (considerando os perigos para a saúde e perigos físicos)	3	1

Nota: P = Perigo máximo associado a uma substância.

Tabela 3.1 – Escala de verdura química para os princípios da Estrela Verde

Fonte: Ribeiro, Costa e Machado (2010).

Os critérios são os indicadores usados na EV para avaliar um Princípio da QV. No Princípio 1, por exemplo, a verdura química máxima (valor 3) é atribuída se os resíduos não geram perigos à saúde ou ao meio ambiente; um valor médio de verdura (2) é atribuído a resíduos que apresentam perigo moderado; e valor mínimo de verdura (1) para resíduos com alta periculosidade. Os Princípios 3, 5, 9 também se baseiam em indicadores de perigo ambiental e à saúde. O Princípio 12 se baseia em perigo físico. No entanto, é necessário definir uma escala para esses perigos, indicando quais são moderados e altos. Aí entra o GHS (Guia Harmonizado de Segurança), como um sistema de classificação harmonizado de perigos, permitindo uma avaliação objetiva de cada um dos Princípios.

Pelas fichas de segurança (FISPQ), cada substância envolvida no processo em avaliação tem seus perigos analisados por meio das frases de perigos e das palavras de advertência (conferir capítulo 2). As frases de perigo são identificadas nas FISPQ das substâncias químicas e indicam a classificação do perigo (físico, ambiental ou de saúde) e os potenciais efeitos de uma substância. Cada frase de perigo contém um código que inicia com a letra H, seguida de um número para a classe de perigo (2 para perigo físico, 3 para perigos à saúde e 4 para perigos ao meio ambiente) e uma sequência numérica que identifica os efeitos dentro da classe (conferir seção 2.2 Elementos da classificação e comunicação de perigos). As palavras de advertência indicam o grau de perigo: "Perigo", para alta periculosidade (valor 3 de perigo); "Atenção", para periculosidade intermediária (valor 2 de perigo); e sem frase de perigo ou palavra de advertência para perigo mínimo (valor 1). Quanto maior o valor de perigo, menor o valor da verdura química. A Tabela 3.2 apresenta os valores de perigo associados a cada frase de perigo.

Classe de perigo	Código de perigo	Pontuação de perigo
Ambiente	H402; H412; H413	2
	EUH059; H400; H401; H410; H411; H420	3
Físico	EUH209A; H204; H221; H223; H226; H227; H228 (categoria 2); H229; H231; H242 (Tipo E e F); H252; H261 (categoria 3); H272 (categoria 3); H280; H281; H290	2
	EUH001; EUH006; EUH014; EUH018; EUH019; EUH044; EUH209; H200; H201; H202; H203; H205; H206; H207; H208; H220; H222; H224; H225; H228 (categoria 1); H230; H240; H241; H242 (Tipo C e D); H250; H251; H260; H261 (categoria 2); H270; H271; H272 (categoria 2)	3
Saúde	EUH066; EUH201A; EUH203; EUH204; EUH205; EUH208; H302; H303; H305; H312; H313; H315; H316; H317; H319; H320; H332; H333; H335; H336; H362	2
	EUH029; EUH031; EUH032; EUH070; EUH071; EUH201; EUH202; EUH206; EUH207; H300; H301; H304; H310; H311; H314; H318; H330; H331; H334; H340; H341; H350; H351; H360; H361; H370; H371; H372; H373	3

Tabela 3.2 – Valores de perigo (P) associados às frases de perigo

Fonte: Ribeiro, Costa e Machado (2010).

O Princípio 2 se baseia no uso de reagentes em excesso para fazer a avaliação. O Princípio 6 é avaliado pelo uso de temperatura e pressão diferentes das condições normais. Os Princípios 7 e 10 se referem à renovabilidade e degradabilidade das substâncias, adotando-se a escala na Tabela 3.3. Caso não haja informações na FISPQ sobre degradabilidade ou renovabilidade, podem-se procurar os dados em outras fontes, como *handbooks* de química, ou adotar o princípio da precaução e atribuir risco máximo. Ou seja, na dúvida se uma substância apresenta perigo, é melhor assumir uma postura precaucionária e evitar completamente o seu uso, pressupondo perigo máximo (P = 1).

Características	Critérios	Pontuação de Perigo (P)
Degradabilidade	Não degradáveis e que não possam ser tratados para se obter a sua degradação em produtos de degradação inócuos	3
	Não degradáveis mas que possam ser tratadas para se obter a sua degradação em produtos de degradação inócuos	2
	Degradáveis com produtos de degradação inócuos	1
Renovabilidade	Não renováveis	3
	Renováveis	1

Tabela 3.3 – Escala de perigos associados à degradabilidade e à renovabilidade

Fonte: Ribeiro, Costa e Machado (2010).

A representação gráfica pode ser feita por meio de uma estrela de 6 pontas ou de 10 pontas (conferir Figura 3.1), a depender da natureza do processo a ser avaliado. Se o processo envolve reação química, então todos os 10 Princípios podem ser avaliados e a EV de 10 pontas será gerada. Caso o processo não envolva uma reação química, como, por exemplo, uma separação de misturas, os Princípios 2, 3, 8 e 9 não são relevantes e o gráfico apresentará uma estrela de 6 pontas. Ademais, no processo de síntese, pode-se construir uma EV para a reação, outra para o isolamento e outra para a purificação do produto, ou uma EV global para todo o processo. Essa forma de separação em etapas é bastante útil para identificar contribuições específicas para a verdura química global do processo e apontar oportunidades de melhoria no processo.

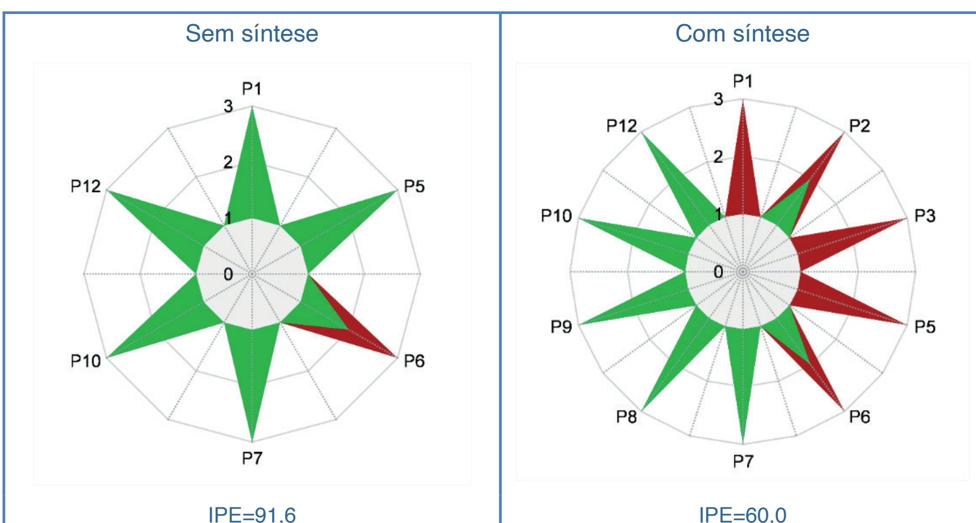


Figura 3.1 – Exemplo de Estrela Verde para processos com sínteses (10 pontas) e sem sínteses (6 pontas)

Fonte: Ribeiro, Costa e Machado (2010).

2 I CONSTRUÇÃO DA ESTRELA VERDE

A EV é fácil de ser aplicada e bastante intuitiva, podendo ser realizada em salas de aula da educação básica para avaliar atividades práticas realizadas ou roteiros teóricos. A metrificação pode ser feita por meio de softwares digitais, como planilhas de Excel ou calculadora virtual, ou até por meio de material impresso. Descreveremos aqui como realizar a atividade por meio de material impresso. Você pode acessar o material necessário no Apêndice A.

O primeiro passo é identificar se o processo envolve reação ou mais de uma etapa, como isolamento e purificação. A partir disso, seleciona-se que tipo de EV será feita: de 6 ou 10 pontas, de etapas específicas ou global.

Definido o objetivo, é necessário então fazer um levantamento de todos os reagentes, produtos, coprodutos e auxiliares (catalisadores, solventes etc.) usados e gerados. É necessário analisar a estequiometria e os rendimentos da reação, para avaliar a geração de coprodutos e o uso de reagentes em excesso, o que permitirá obter o valor de verdura química para o Princípio 2, conforme escala de verdura na Tabela 3.1. Em seguida, reúnem-se as FISPQ dessas substâncias, que fornecerão informações sobre os perigos, renovabilidade e degradabilidade, que podem ser reunidas em uma tabela, como a Tabela 3.4, por exemplo. Para cada frase de perigo de uma substância, podem ser atribuídos valores de perigo, conforme Tabela 3.2, mas consideramos o maior valor de perigo para a confecção da EV.

Substâncias	Códigos de Perigo	Valor máximo de Perigo (P)			Degradabilidade	Renovabilidade
		Físico	Saúde	Ambiente		
Reagentes 1						
Reagente 2						
Solvente 1						
Solvente 2						
Produto X						
Resíduo Y						

Tabela 3.4 – Exemplo de informações a serem retiradas da FISPQ

Fonte: os autores.

Com os valores de perigo levantados, é possível consultar a escala de verdura química na Tabela 3.1 e construir uma tabela de verdura do processo avaliado (Quadro em Apêndice A.5). Nessa tabela, apresentam-se os valores de verdura usados para construir o gráfico da EV. Para cada Princípio, o valor de verdura 1 (V = 1) significa que há um perigo máximo associado (P = 3), indicando que aquele Princípio não é atingido e nenhuma marcação gráfica é realizada. Quando a verdura é 2 ou 3, pinta-se de verde até o valor correspondente. Assim, quanto maior a área verde, maior a verdura do processo. Por

exemplo, a Figura 3.1 mostra um processo que envolve reação (estrela de 10 pontas), em que os Princípios 1, 2, 6, 8 e 9 possuem verdura máxima (V = 3); os princípios 3, 5 e 12 têm verdura intermediária (V = 2); e os Princípios 7 e 10 não são atendidos.

Para ter um parâmetro melhor para comparar duas EV, é possível calcular o Índice de Preenchimento da Estrela (IPE), uma medida da porcentagem da Estrela que está pintada de verde. Para calcular o IPE, basta dividir a área verde pela área total do gráfico ou seguir a equação a seguir:

$$IPE = \frac{100 * (\text{Soma do valor de verdura - Nº pontas da estrela})}{2 * \text{Nº pontas da estrela}}$$

A Figura 3.1, portanto, apresenta um IPE de 91,6 para o processo sem síntese e de 60 para o processo com síntese. A partir disso, é possível vislumbrar possibilidades de melhorar nos processos, como usar fontes renováveis, substâncias degradáveis e inócuas, por exemplo.

3 | ALGUNS LIMITES DE ABRANGÊNCIA E USO DA ESTRELA VERDE

Uma das dificuldades em se trabalhar com a EV é conseguir achar as informações para avaliar os perigos, mas é também um problema comum em outras métricas, conforme já apontado na literatura (KRALISCH; OTT; GERICKE, 2015; ECKELMAN, 2016; ZHENG *et al.*, 2018). Nem sempre as FISPQ de todas as substâncias em avaliação estão prontamente disponíveis, por não serem de interesse comercial, por exemplo. Não obstante, os dados sobre origem (renovável ou não) das substâncias não é uma informação comum nas FISPQ, assim como informações sobre degradação dos materiais. Também é possível encontrar dificuldades para avaliar o grau de toxicidade de substâncias, quando a sua quantidade difere da apresentada nas FISPQ. Esses são aspectos que foram ou ainda são negligenciados pela ciência e muitos dados são difíceis de obter, pois requerem anos de pesquisa.

Como a EV é uma métrica qualitativa, ela não gera valores quantitativos refinados. Por exemplo, a quantidade de resíduos, reagentes ou substâncias auxiliares não é avaliada, o que impede a comparação de dois processos que têm apenas alguma variação na quantidade dessas substâncias. Isso também pode atrapalhar na comparação da quantidade de substâncias tóxicas utilizadas. Um processo que usa apenas uma substância tóxica pode ter o mesmo índice de verdura química de outro que usa dez substâncias de mesma periculosidade.

A dimensão dos custos econômicos para implementação desses processos mais verdes também não é possível por meio da EV, mas é um fator muito importante para o setor industrial. Questões sociais e culturais também não entram no escopo da métrica (conf. MARCELINO; SJÖSTRÖM; MARQUES, 2019). Por exemplo, ela não avalia a participação dos trabalhadores ou da sociedade na governança desses processos, na discussão de

quais perigos são aceitáveis ou não; nem considera os impactos da instalação de um processo nos níveis de emprego de uma determinada região.

Outro ponto importante de ser considerado é a comparação de EV, que pode ser bastante útil quando usada para comparar atividades experimentais com o mesmo objetivo, mas que pode gerar confusão se usada em atividades com finalidades distintas. Assim, a EV é útil para comparar processos distintos para gerar uma mesma substância ou atender a um mesmo objetivo pedagógico, indicando qual dos procedimentos é mais quimicamente verde. Contudo, não faz muito sentido comparar EV e procedimentos com finalidades divergentes, por exemplo, cotejando a verdura química de um processo para produzir essência de canela com um processo para síntese de ácido sulfúrico. As diferenças de verdura química, nesse caso, não têm sentido prático.

Essas observações críticas têm o intuito de reforçar que não há métrica perfeita. Cada métrica é um instrumento que responde perguntas específicas e com escopo definido. Aqui, trouxemos outras dimensões e outros interesses que podem ser levados em conta na avaliação de um processo químico. Em nenhum ponto isso desqualifica a EV, só reforça o seu papel e utilidade enquanto métrica para avaliar holisticamente o atendimento aos 12 Princípios da QV, de forma simples e coesa. Pela sua simplicidade de aplicação e de representação, ela é um instrumento adequado para introduzir alunos da educação básica e do ensino superior no mundo complexo das métricas químicas, permitindo vislumbrar avanços, possibilidades, mas também os limites.

Este Capítulo apresentou a fundamentação teórica e metodológica de construção da métrica holística EV, bem como apontou alguns limites e avanços para o seu uso. Nos próximos Capítulos, o potencial da EV é colocado à prova por meio da análise de roteiros experimentais comumente usados em laboratórios de ensino de cursos de Química.

PARTE II

ATIVIDADES EXPERIMENTAIS DA DISCIPLINA QUÍMICA ORGÂNICA EXPERIMENTAL I[1]

Douglas Janiel Lunkes

Santiago Francisco Yunes

Patricia Link Rüntzel

A apresentação dos experimentos, suas análises e metrificações foram desenvolvidas a partir das apostilas disponibilizadas na disciplina de Química Orgânica Experimental A no ano de 2021 (QUÍMICA ORGÂNICA..., 2021), que podem ser acessadas na página virtual da disciplina, sendo que o texto e as informações das apostilas foram simplificados.

Para todas as atividades experimentais aqui analisadas, os reagentes, solventes, produtos e resíduos foram inventariados e os perigos dessas substâncias foram pesquisados por meio das FISPQ disponíveis online, registrando essas informações conforme o modelo em Tabela 3.4. Em seguida, foram utilizadas planilhas do programa Microsoft Excel (disponível no Ambiente Temático Virtual - Química Verde) para a construção de um gráfico radial, a EV, conforme explicado na seção 3.2 Construção da Estrela Verde. Com base nesta metodologia, foi construída uma EV para cada experimento analisado e, junto com elas, o seu valor de IPE.

Os materiais para gerar a EV em salas de aula ou laboratórios podem ser consultados em Apêndice A. Alternativamente, a EV pode ser gerada por meio de uma calculadora virtual, disponível na página do Quimidex.

1 I SÍNTESE E PURIFICAÇÃO DA ACETANILIDA

Objetivo

Sintetizar e purificar a acetanilida a partir da reação de acetilação da anilina.

Materiais e reagentes

- Béquer
- Funil de Büchner
- Erlenmeyer
- Fragmentos de porcelana porosa
- Banho de gelo
- Carvão ativo
- Papel filtro pregueado
- Acetato de sódio anidro
- Ácido acético glacial
- Água destilada
- Anilina
- Anidrido acético

1. Autores responsáveis pela análise dos roteiros experimentais. Os experimentos foram concebidos por diversos professores do Departamento de Química / UFSC.

Procedimento experimental

Síntese da acetanilida

Em um béquer de 250 mL, na capela, prepare uma suspensão de 1,1 g de acetato de sódio anidro em 4,0 mL de ácido acético glacial. Adicione, agitando constantemente, 3,5 mL de anilina. Em seguida, adicione 5,0 mL de anidrido acético, em pequenas porções (reação é rápida).

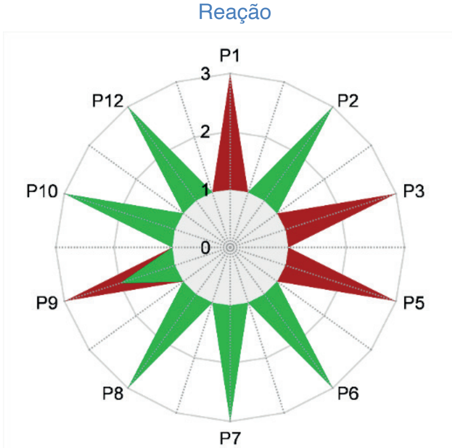
Terminada a reação, despeje a mistura reacional, com agitação, em 120 mL de H_2O. A acetanilida separa-se em palhetas cristalinas incolores. Resfrie a mistura em banho de gelo, filtre os cristais usando um funil de Büchner e lave com H_2O gelada. Seque e determine o ponto de fusão.

Recristalização

Em um erlenmeyer de 250 mL aqueça 100 mL de água destilada. Num outro erlenmeyer coloque a acetanilida a ser recristalizada e algumas pedrinhas de porcelana porosa. Adicione, aos poucos, a água quente sobre a acetanilida até que esta seja totalmente dissolvida (use a menor quantidade de água possível). Adicione 0,4 g de carvão ativo (aproximadamente 2% em peso, não adicione o carvão ativo à solução em ebulição), ferva por alguns minutos e filtre a solução quente através de papel filtro pregueado. Deixe em repouso para permitir a formação de cristais. Filtre novamente usando um funil de Büchner, seque, determine o ponto de fusão e o rendimento obtido.

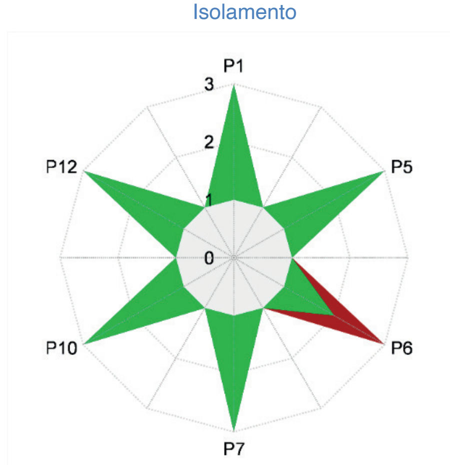
Estrela Verde do Experimento

Reação



IPE=65,0

Isolamento



IPE=91,6

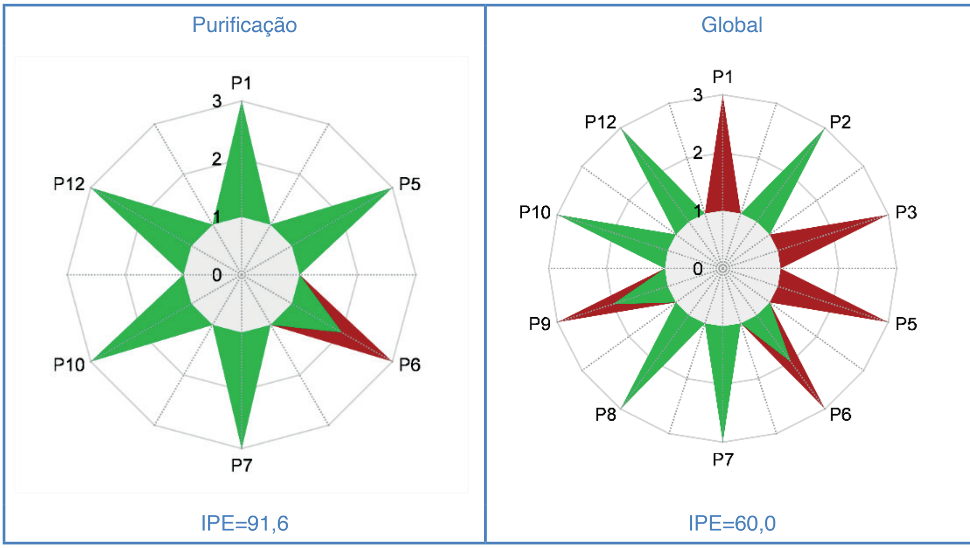


Figura 4.1 – Estrelas Verdes e IPE para etapas de reação, isolamento, purificação e global do Experimento 4.1 — Síntese e Purificação da Acetanilida

Fonte: dados da pesquisa.

Para a etapa de reação de síntese (Figura 4.1), tem-se pontuação máxima para os Princípios 6, 7, 8, 9, 10 e 12, porque a reação acontece à temperatura ambiente (P6), todas as substâncias envolvidas são renováveis (P7), só há uma etapa na síntese (P8), não se usam catalisadores (P9), todas as substâncias envolvidas são degradáveis (P10), e todas as substâncias apresentam perigo baixo para acidente químico (P12). A pontuação é reduzida a 2 para o Princípio 2 porque a reação tem formação do ácido acético como coproduto (P2). Para o restante dos Princípios a pontuação é reduzida para 1 porque há formação de ácido acético como resíduo com risco elevado para a saúde (P1) e utilizam-se na síntese anilina e anidrido acético com risco elevado para a saúde (P3), bem como utiliza-se ácido acético glacial como solvente com risco elevado para a saúde (P5), com uma verdura química medida pelo IPE igual a 65,0.

Na segunda etapa do experimento, que consiste no isolamento do produto, a pontuação é máxima para os Princípios 1, 5, 7, 10 e 12, apresentando pontuação 2 para P6, pois aquece-se a água para recristalizar os cristais de acetanilida. Tem-se nessa etapa uma área verde quase total, IPE=91,7. A purificação acontece com a dissolução dos cristais em água quente com carvão ativado. Como não há nenhum risco associado com o carvão ativado, a EV referente à purificação apresenta apenas o Princípio 6 com verdura química igual a 2, por não ser realizado à temperatura ambiente, somando um IPE=91,6. Logo o processo global mostra que a etapa da reação é determinante para a verdura química global da atividade experimental, totalizando um IPE=60,0.

2 I DESTILAÇÃO

Objetivo

Separar dois líquidos (cicloexano e tolueno) por destilação fracionada.

Materiais e Reagentes

- Balão de fundo redondo
- Aparelhagem de destilação fracionada
- Fragmentos de porcelana porosa
- Erlenmeyer
- Refratômetro
- Cicloexano
- Tolueno

Procedimento experimental

Pese de forma exata 0,1 moles de cicloexano (d = 0,772 g/mL) e 0,1 moles de tolueno (d= 0,867 g/mL). Combine os líquidos num balão de fundo redondo de 100 mL. Monte o equipamento de destilação fracionada.

Inicie a destilação de forma lenta para permitir que a composição dos vapores atinja equilíbrio na coluna de fracionamento. Colete 5 frações de destilado, conforme indicado na Tabela 4.1. As frações 1-4 deverão ser coletadas em frascos separados e previamente pesados. Tampe cada frasco, para evitar perdas por volatilização.

Após a coleta da quarta fração, retire a fonte de aquecimento. Deixe o líquido da coluna voltar até o balão de fundo redondo, transferindo o conteúdo deste balão para o quinto frasco. Pese os cinco frascos contendo as frações 1-5 e anote os valores na Tabela 4.2.

Fração de destilado	faixa de ebulição (°C)	peso da fração (g)	Índice de refração	fração molar de cicloexano
primeira (10 gotas)				
segunda	81-85			
terceira	85-97			
quarta	97-107			
quinta	107-111			

Tabela 4.1 – Frações obtidas durante a destilação fracionada

Fonte: adaptado da apostila de Química Orgânica (QUÍMICA OGÂNICA, 2021).

Usando um refratômetro, meça o índice de refração para as frações dos destilados 1-5 e anote os valores na Tabela 4.1. Com a ajuda da curva de calibração (gráfico de índice de refração X fração molar de cicloexano) será encontrada a fração molar de cicloexano em cada uma das frações destiladas, preenchendo a Tabela 4.1.

Para a construção de uma curva de calibração prepare soluções contendo cicloexano e tolueno em diferentes proporções (Tabela 4.2) e meça o índice de refração para cada solução. Construa uma curva de calibração que será um gráfico de índice de refração em função da fração molar de cicloexano. Use esta curva para determinar a fração molar de cicloexano nas frações 15 dos destilados obtidas na destilação fracionada (item 3.1), e coloque estes valores na Tabela 4.2.

Fração molar cicloexano (χ)	n. moles cicloexano	n. moles tolueno	Massa (g) cicloexano	Massa (g) tolueno	Índice de refração
0	-	0,10			
0,2	0,02	0,08			
0,4	0,04	0,06			
0,6	0,06	0,04			
0,8	0,08	0,02			
1,0	0,10	-			

Tabela 4.2 – Curva de calibração (índice de refração X fração molar de cicloexano)

Fonte: adaptado da apostila de Química Orgânica (QUÍMICA-ORGÂNICA..., 2021).

Estrela Verde do Experimento

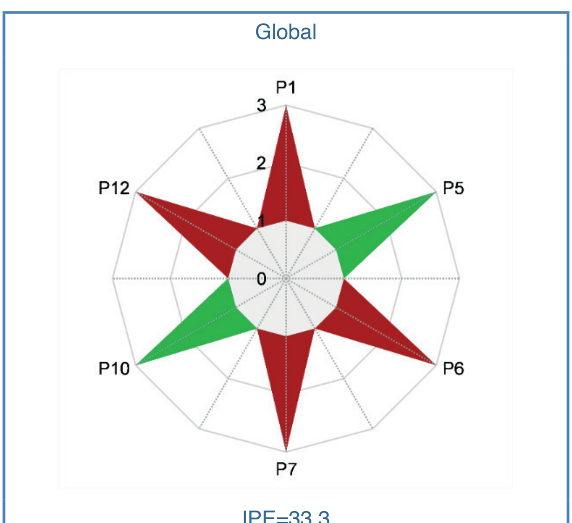


Figura 4.2 – Estrela Verde e IPE para o Experimento 4.2 - Experimento 4.2: Destilação

Fonte: dados da pesquisa.

A EV referente à primeira etapa da atividade experimental consiste em uma destilação fracionada (Figura 4.2). Teve pontuação máxima para os Princípios 5 e 10 por não usar solventes e os reagentes serem degradáveis. A pontuação foi mínima para os demais Princípios por ter a presença de tolueno e cicloexano, que têm perigo elevado para a saúde e o meio ambiente. O baixo valor de verdura química também foi influenciado pela temperatura para a destilação acima de 100°C (P6), por reagentes não renováveis (P7) e por apresentar perigo elevado de acidente químico (P12). Por não ter etapa de isolamento e purificação o processo global, de fato é a etapa da destilação, portanto o IPE do processo global é igual a 33,3.

3 I SOLUBILIDADE DE COMPOSTOS ORGÂNICOS

Objetivo

Separar compostos desconhecidos usando o conceito de solubilidade.

Materiais e reagentes

- Tubos de ensaio
- Papel indicador
- Éter
- Hidróxido de sódio (5%)
- Bicarbonato de sódio (5%)
- Ácido clorídrico (5%)
- Ácido sulfúrico (96%)
- Ácido fosfórico (85%)

Procedimento experimental

Neste experimento, serão analisados cinco compostos desconhecidos. A partir dos testes de solubilidade, estes serão classificados em classes de grupos funcionais de acordo com o esquema na Figura 4.3. Esses cinco compostos podem incluir uma base, um ácido fraco, um ácido forte, uma substância neutra contendo oxigênio e uma substância neutra inerte.

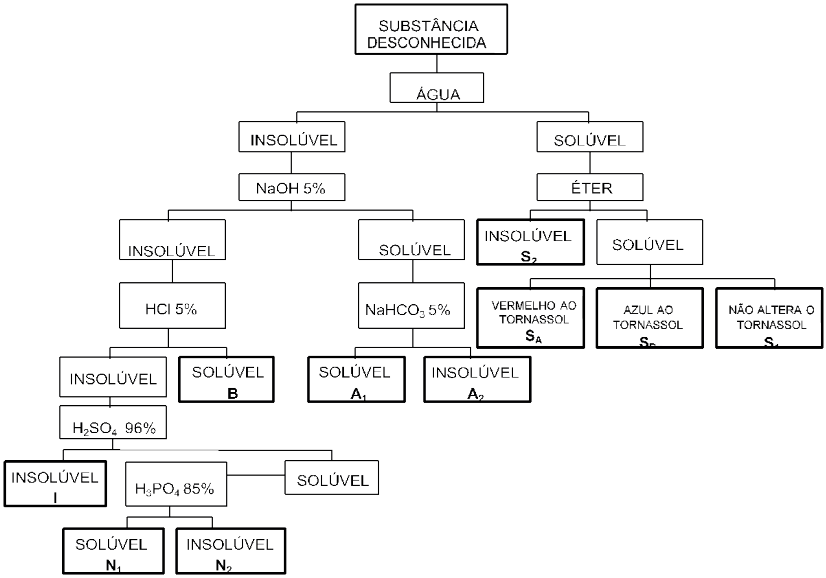


Figura 4.3 – Classificação dos compostos orgânicos pela solubilidade

Fonte: adaptado da apostila de Química Orgânica (QUÍMICA-ORGÂNICA..., 2021).

Coloque 1,0 mL do solvente em um tubo de ensaio. A seguir adicione algumas gotas do líquido ou sólido desconhecido diretamente no solvente. Os compostos sólidos devem ser finamente pulverizados para facilitar a dissolução. A seguir, agite cuidadosamente o tubo de ensaio e anote o resultado. Às vezes um leve aquecimento ajuda na dissolução, e quando um composto colorido se dissolve a solução assume esta cor.

Usando o procedimento acima, os testes de solubilidade dos compostos desconhecidos devem ser determinados nos seguintes solventes: água, éter, NaOH 5%, $NaHCO_3$ 5%, HCl 5%, H_2SO_4 95 % e H_3PO_4 85%.

Usando ácido sulfúrico concentrado pode haver uma mudança de coloração, indicando um teste positivo de solubilidade. Sólidos desconhecidos que não dissolvem nos solventes citados acima podem ser substâncias inorgânicas.

Se o composto dissolver em água, o pH deverá ser medido com papel indicador. Compostos solúveis em água são, em geral, solúveis em todos os solventes aquosos. Se um composto é pouco solúvel em água, ele poderá ser mais solúvel em outro solvente aquoso. Como já citado, um ácido carboxílico poderá ser pouco solúvel em água, mas muito solúvel em meio básico diluído. Assim, torna-se necessário determinar a solubilidade dos compostos desconhecidos em todos os solventes.

Estrela Verde do Experimento

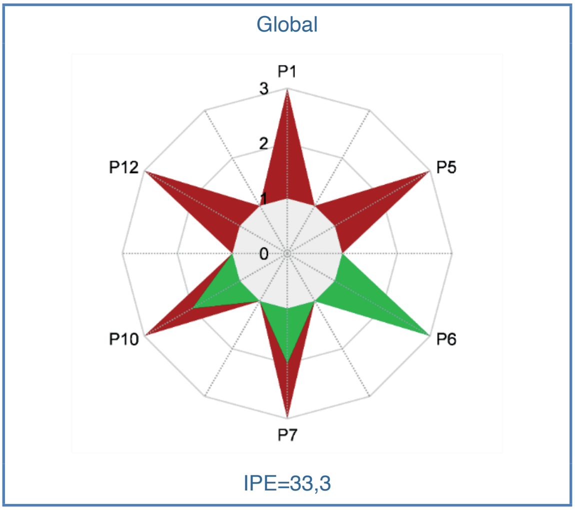


Figura 4.4 – Estrela Verde e IPE para o Experimento 4.3 — Solubilidade de compostos orgânicos

Fonte: dados da pesquisa.

A atividade experimental tem apenas uma única etapa, por ser só uma separação de compostos (Figura 4.4). Na EV obtida, apenas o Princípio 6 teve verdura química máxima, pois faz-se o experimento à temperatura e pressão ambiente. Os Princípios 7 e 10 tiveram pontuação 2, porque, das substâncias utilizadas, nem todas são renováveis (P7) ou degradáveis, mas podem ser tratadas (P10). Os restantes dos Princípios obtiveram pontuação mínima: por gerar uma variada quantidade de compostos nos resíduos (P1), considerando solventes, substâncias auxiliares, bem como os compostos que estão sendo separados, que têm perigo elevado para a saúde e o meio ambiente; são usados vários solventes como o hidróxido de sódio, ácido sulfúrico, ácido fosfórico com perigo elevado para a saúde e o meio ambiente (P5); e são usadas substâncias com perigo elevado de acidente químico (P12). O IPE deste experimento foi de 33,3.

4 | CROMATOGRAFIA

Objetivos

Aplicar a técnica de cromatografia em camada delgada e cromatografia em coluna para separação de substâncias de uma mistura.

Materiais e reagentes

- Béquer
- Lâminas de vidro de microscópio
- Erlenmeyer
- Bastão de vidro
- Cuba para cromatografia
- Coluna para cromatografia
- Pipeta ou conta-gotas
- Tubo capilar
- Clorofilas A e B (extrato de folhas verdes)
- β-naftol
- β-caroteno (extrato de cenoura)
- *p*-toluidina
- Alaranjado de metila
- Azul de metileno
- Alumina
- Sílica gel
- Acetato de etila
- Éter de petróleo
- Etanol
- Diclorometano
- Clorofórmio
- Solução aquosa de ácido acético

Procedimento experimental

Cromatografia em camada delgada

Na cromatografia em camada delgada serão analisados e identificados os componentes coloridos extraídos de folhas verdes (clorofilas A e B) e os da cenoura (β-caroteno), assim como os componentes de uma droga analgésica, comparando-os com padrões. Será ainda estudado o efeito do solvente no valor do Rf (fator de retenção) para os compostos β-naftol e *p*-toluidina.

Prepare duas placas para cromatografia em camada fina a partir de lâminas de vidro de microscópio. Agite com um bastão de vidro uma suspensão espessa de sílica em diclorometano (ou clorofórmio) em um béquer de 50 mL. Quando a pasta resultante estiver homogênea, mergulhe-a na mistura as duas placas juntas, face a face, por um a dois segundos, retire-as e deixe-as secar ao ar.

Com um capilar, semeie duas manchas a 1 cm da base da placa e separadas entre si; uma de extrato de folhas verdes e outra de extrato de cenoura. Coloque então a placa em uma cuba cromatográfica contendo o eluente (acetato de etila, éter de petróleo 2:3). O nível de eluente deve estar abaixo do nível das manchas na placa.

Após a eluição deixe secar a placa. O β-caroteno (polieno isolado da cenoura) aparece como uma mancha amarela próxima ao topo da placa; as clorofilas A e B aparecem como manchas verde oliva e verde azulada, respectivamente. Calcule os Rf.

Em uma placa de sílica gel ativada aplique, com ajuda de um capilar, uma solução diluída de β-naftol e outra de *p*-toluidina (use cloreto de metileno ou éter como solvente) e deixe desenvolver o cromatograma usando como eluente os seguintes solventes (faça uma placa para cada eluente):

- Cloreto de metileno puro.
- Cloreto de metileno contendo 25% de acetato de etila.
- Cloreto de metileno contendo 50% de acetato de etila.

Após o solvente atingir o topo da placa, retire a placa da cuba, evapore o solvente na capela e coloque-a numa atmosfera de iodo para revelar a manchas das substâncias.

Calcule o Rf para cada amostra em cada mistura de solvente.

Qual é o efeito causado sobre o Rf pelo aumento da proporção do acetato de etila na mistura de solvente utilizado?

Cromatografia em coluna

Prepare uma coluna para cromatografia utilizando alumina básica como fase fixa, da seguinte maneira: em um erlenmeyer, suspenda 15 a 20 g de alumina em clorofórmio (ou diclorometano), até obter uma pasta fluida, homogênea e sem bolhas de ar incluídas. Encha a terça parte da coluna cromatográfica com o mesmo solvente e derrame, então, a pasta fluida de alumina, de modo que ela sedimente aos poucos e de forma homogênea. Caso haja bolhas de ar oclusas na coluna, golpeie-a suavemente, de modo a expulsá-las. Controle o nível do solvente abrindo ocasionalmente a torneira da coluna. Terminada a preparação, o nível de solvente (eluente) deve estar 1 cm acima do topo da coluna de alumina.

Distribua homogeneamente sobre o topo da coluna de alumina, com auxílio de uma pipeta ou conta-gotas, 1 a 3 mL de uma solução etanólica de alaranjado de metila e azul de metileno. Após a adsorção pela coluna, proceda a eluição com etanol, vertendo cuidadosamente o solvente pelas paredes internas da coluna, tomando cuidado para não causar distúrbios ou agitação na coluna. Abra a torneira para escoar o solvente.

Elua todo o azul de metileno com etanol. Elua, primeiro com água, o alaranjado de metila retido na coluna e, em seguida, com uma solução aquosa de ácido acético.

Repita o mesmo procedimento acima utilizando sílica gel como fase fixa da coluna. Observe que a ordem de eluição se inverte, isto é, o alaranjado de metila sai com etanol enquanto o azul de metileno fica retido na coluna.

Estrela Verde do Experimento

Experimento 4.4A — Cromatografia em camada delgada

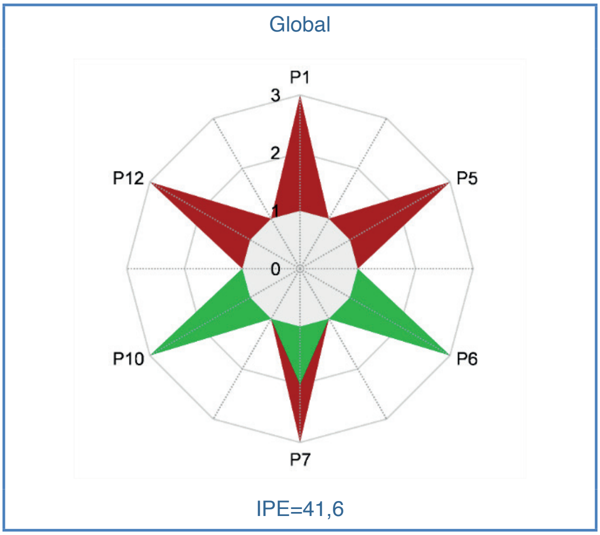


Figura 4.5 – Estrela Verde e IPE para o Experimento 4.4A — Cromatografia em camada delgada

Fonte: dados da pesquisa.

Para técnica de cromatografia em camada delgada foi elaborada apenas uma EV (Figura 4.5), por ser uma técnica que analisa, identifica e separa componentes de uma mistura, não possuindo várias etapas. Para a EV obtida, os Princípios 6 e 10 obtiveram pontuação máxima. O Princípio 7 teve pontuação reduzida para 2, pois nem todas as matérias primas são renováveis (P7). Aos Princípios 1, 5 e 12 foi atribuída a pontuação mínima, pois se tem uma grande quantidade de resíduos com perigo elevado para a saúde e o meio ambiente, como o diclorometano, iodo, tolueno etc. (P1); a maioria dos solventes tem perigo elevado para a saúde e o meio ambiente (P5); e esses solventes e resíduos gerados apresentam perigo elevado de acidente químico, considerando os perigos físicos e para a saúde (P12). Obteve-se uma EV com IPE=41,6.

Experimento 4.4B — Cromatografia em coluna

A cromatografia em coluna também apresenta apenas uma etapa e, portanto, uma EV (Figura 4.6). O Princípio 6 teve pontuação máxima por ser uma atividade experimental realizada em pressão e temperatura ambiente. Os Princípios 7 e 10 obtiveram pontuação de verdura química reduzida para 2, por serem usadas algumas substâncias não renováveis (P7) e algumas não degradáveis, como o óxido de alumínio (P10). Os demais Princípios tiveram a pontuação mínima atribuída, porque o clorofórmio tem um perigo elevado para

a saúde (P1, P5) e o experimento apresenta perigo elevado de acidente químico pelas substâncias que são usadas (P12). A EV para a cromatografia em coluna teve um IPE=33,3.

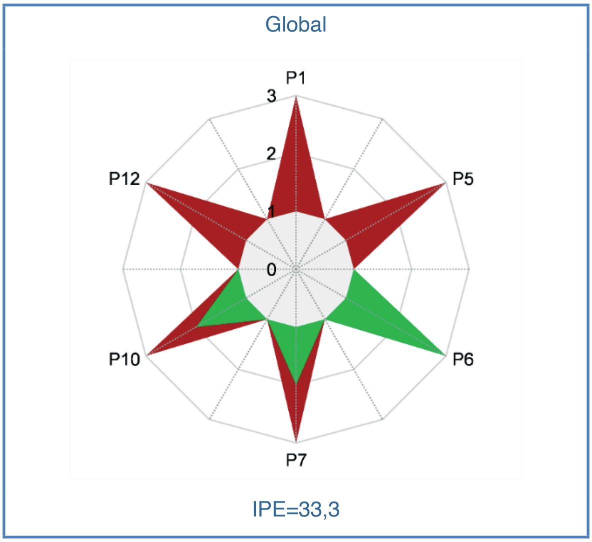


Figura 4.6 – Estrela Verde e IPE para o Experimento 4.4B — Cromatografia em coluna

Fonte: dados da pesquisa.

Comparando as duas técnicas de cromatografia, percebe-se que a cromatografia de camada delgada tem uma verdura química mais significativa em relação à cromatografia em coluna. Mesmo assim, as duas estão com a verdura abaixo do que se espera para uma atividade que de fato emprega os Princípios da QV.

5 I SEPARAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DOS COMPONENTES DA “PANACETINA”

Objetivos

Separação dos componentes de Panacetina usando as propriedades de acidez, basicidade e solubilidade.

Materiais e reagentes

- Bastão de vidro
- Funil de separação
- Banho de gelo
- Erlenmeyer
- Papel de filtro
- Papel tornassol
- Placa de aquecimento ou rotaevaporador
- Diclorometano
- Ácido clorídrico 6mol L^{-1}
- Panacetina
- Sulfato de sódio
- Hidróxido de sódio 10%

Procedimento experimental

Pese exatamente 3,0 g de Panacetina e coloque num erlenmeyer de 125 mL. Adicione 50 mL de CH_2Cl_2 e agite a mistura usando bastão de vidro para dissolver o sólido

tanto quanto possível. Filtre esta amostra num papel de filtro previamente pesado, lave com um mínimo de CH_2Cl_2, seque sua amostra e determine o peso novamente para calcular a quantia exata de sacarose na amostra.

Coloque o filtrado num funil de separação e extraia duas vezes com 25 mL de NaOH 10% (CH_2Cl_2 é o líquido de maior densidade). Adicione 10 mL de HCl 6 mol L^{-1}, lentamente e com agitação, aos extratos aquosos combinados. Teste o pH com papel tornassol, para ter certeza de que a solução está ácida (pH = 2 ou menor). Resfrie a mistura num banho de gelo e filtre a vácuo usando um papel filtro previamente pesado. Lave o precipitado com uma pequena quantidade de água destilada gelada, seque e determine a quantidade de aspirina na sua amostra.

Seque a fase orgânica com Na_2SO_4, filtre com papel filtro pregueado e evapore o CH_2Cl_2 usando placa de aquecimento ou rotaevaporador. Determine a massa da substância desconhecida. Recristalize o composto desconhecido com uma quantidade suficiente de água para dissolvê-lo. Filtre a solução a quente usando papel filtro pregueado e deixe a solução esfriar à temperatura ambiente. Seque o produto e identifique a droga desconhecida, determinando o seu ponto de fusão.

Estrela Verde do Experimento

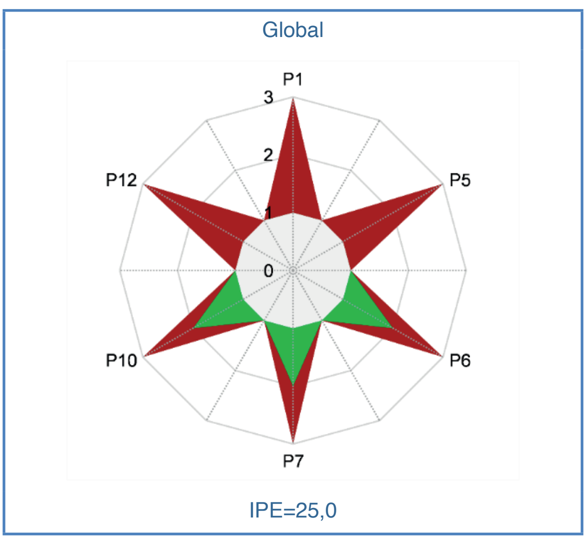


Figura 4.7 – Estrela Verde e IPE para o Experimento 4.5 — Separação e identificação dos componentes da "PANACETINA"

Fonte: dados da pesquisa.

Para esta atividade experimental foi criada apenas um EV (Figura 4.7), que não teve nenhum Princípio com pontuação máxima. Os Princípios 6, 7 e 10 tiveram sua pontuação reduzida para 2, porque a separação foi feita com aquecimento (P6). Nem todas as

substâncias são renováveis (P7) e nem todas são degradáveis, como o diclorometano, mas podem ser tratadas para levar a produtos de degradação inofensivos (10). Os Princípios 1, 5 e 12 tiveram pontuação mínima atribuída pois foram gerados resíduos, como diclorometano e ácido clorídrico, com perigo elevado para a saúde (P1, P5) e são usadas substâncias com perigo elevado para a saúde, com possibilidade de acidente químico (P12). Totalizou-se um IPE=25,0 para o processo global do experimento.

6 I PREPARAÇÃO DE UM CORANTE: ALARANJADO DE METILA

Objetivo

Sintetizar e purificar o corante alaranjado de metila.

Materiais e reagentes

- Erlenmeyer
- Aquecimento em banho-maria
- Banho de gelo
- Béquer
- Bastão de vidro
- Tubo de ensaio
- Papel de filtro
- Pipeta de Pasteur
- Papel tornassol
- Funil de Büchner
- Carbonato de sódio anidro
- N,N-dimetilanilina
- Ácido sulfanílico
- Ácido acético glacial
- Ácido clorídrico
- Nitrito de sódio
- Cloreto de sódio
- Hidróxido de sódio 10%

Procedimento experimental

Diazotização do ácido sulfanílico

Em um erlenmeyer de 125 mL dissolva 0,3 g de carbonato de sódio anidro em 25 mL de água. Adicione 1,0 g de ácido sulfanílico a esta solução e aqueça em banho-maria até a completa dissolução do material. Deixe a solução atingir a temperatura ambiente e adicione 0,4 g de nitrito de sódio, agitando a mistura até a completa dissolução. Resfrie a solução em banho de gelo por 5-10 minutos, até que a temperatura fique abaixo de 10ºC. Em seguida, adicione 1,25 mL de ácido clorídrico, mantendo uma agitação manual. O sal de diazônio do ácido sulfanílico separa-se como um precipitado branco finamente dividido. Mantenha esta suspensão em um banho de gelo até ser utilizada.

Preparação do metil orange

Misture em um béquer de 50 mL, 0,7 mL de N,N-dimetilanilina e 0,5 mL de ácido acético glacial. Com a ajuda de uma pipeta de Pasteur, adicione essa solução à suspensão resfriada do ácido sulfanílico diazotizado preparado previamente. Agite a mistura vigorosamente com um bastão de vidro. Em poucos minutos um precipitado vermelho de heliantina será formado. Mantenha esta mistura resfriada em banho de gelo por cerca de 10 minutos.

Adicione 7,5 mL de hidróxido de sódio 10%. Faça isso lentamente, com agitação, enquanto mantém a mistura resfriada em banho de gelo. Verifique se a mistura está básica, com o auxílio de um papel de tornassol. Se necessário, adicione mais base. Leve a solução básica à ebulição por 10-15 minutos, para dissolver a maioria do metil *orange* recém-formado. Em seguida, adicione 2,5 g de cloreto de sódio e deixe a mistura atingir a temperatura ambiente. A completa cristalização do produto pode ser induzida por resfriamento da mistura reacional. Colete os sólidos formados por filtração em funil de Buchner, lavando o erlenmeyer com 2-3 porções de cloreto de sódio saturado.

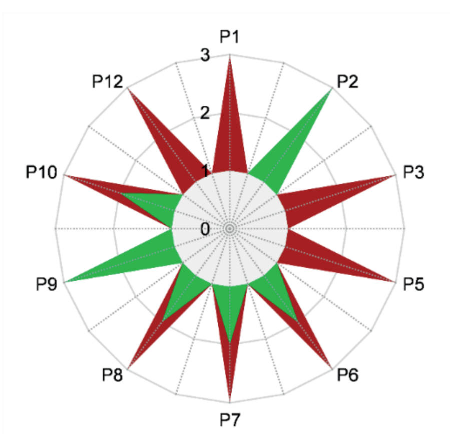
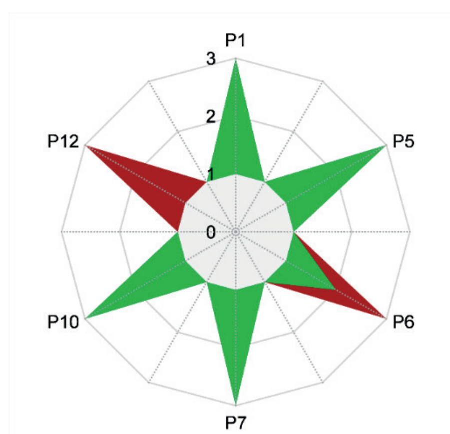
Recristalização

Transfira o precipitado (juntamente com o papel filtro) para um béquer de 125 mL, contendo cerca de 75 mL de água em ebulição. Mantenha a mistura em ebulição branda por alguns minutos, agitando constantemente. Nem todo o corante se dissolve, mas os sais contaminantes são dissolvidos. Remova o papel filtro e deixe a mistura atingir a temperatura ambiente, resfriando-a posteriormente em banho de gelo. Filtre a vácuo e lave com um mínimo de água gelada. Deixe o produto secar, pese e calcule o rendimento.

Teste como indicador de pH

Dissolva em um tubo de ensaio uma pequena quantidade de metil *orange* em água. Alternadamente, adicione algumas gotas de uma solução de HCl diluído e algumas gotas de uma solução de NaOH diluído, observando a mudança de cor no ponto de viragem (pH = 3,1: solução vermelha; pH = 4,4: solução amarela).

Estrela Verde do Experimento

Reação	Purificação
	
IPE=40,0	IPE=91,6

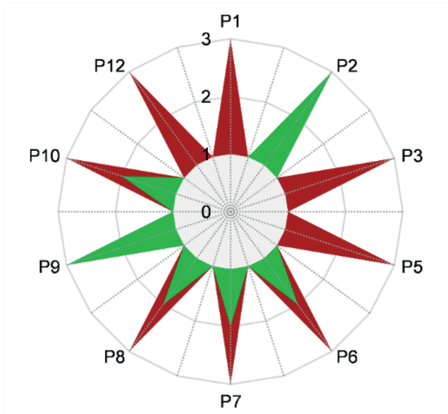


Figura 4.8 – Estrelas Verdes e IPE para etapas de reação, isolamento, purificação e global do Experimento 4.6 — Preparação de um corante: alaranjado de metila

Fonte: dados da pesquisa.

A EV relacionada com a primeira etapa da atividade experimental (Figura 4.8), a reação de síntese, tem pontuação máxima para os Princípios 2 e 9, porque a reação ocorre sem reagentes em excesso e não há formação de coprodutos (P2); e não há uso de catalisadores (P9). A pontuação é reduzida para 2 nos Princípios 6, 7, 8, 10, porque a reação é feita sob aquecimento, mas não ultrapassando os 100°C (P6); utiliza reagentes não renováveis (P7); a reação acontece em duas etapas (P8); e contém substâncias envolvidas que não são degradáveis, mas espera-se que possam ser tratadas gerando produtos inofensivos ao meio ambiente (P10). Para os Princípios 1, 3, 5, 12 a pontuação é reduzida para 1, pois envolve vários resíduos com risco elevado para a saúde e o meio ambiente (carbonato de sódio, nitrito de sódio, hidróxido de sódio e ácido acético glacial) (P1); a substância N,N-dimetilamina usada como reagente na síntese envolve risco elevado para a saúde e ambiente (P3); carbonato de sódio, nitrito de sódio, hidróxido de sódio e ácido acético glacial, usados como solventes ou substâncias auxiliares, envolvem risco elevado para a saúde e o meio ambiente (P5); e as mesmas substâncias apresentam perigo elevado de acidente químico (P12). Soma-se ao final da etapa de reação de síntese um IPE=40,0.

A atividade experimental não tem isolamento, mas tem uma etapa de purificação, em que a pontuação foi máxima para os Princípios 1, 5, 7, 10, 12 e uma pontuação reduzida para 2 por recristalizar o produto em água quente (P6), deixando e etapa com uma verdura química elevada, somando um IPE=91,67. Como na primeira (síntese) o P2 já tinha sido reduzido para 2, pois havia um aumento de temperatura, a etapa determinante para a verdura química global do experimento é a primeira etapa, deixando o IPE do processo

como um todo em 40,0.

7 | DESTILAÇÃO POR ARRASTE A VAPOR: EXTRAÇÃO DO CINAMALDEÍDO DA CANELA

Objetivo

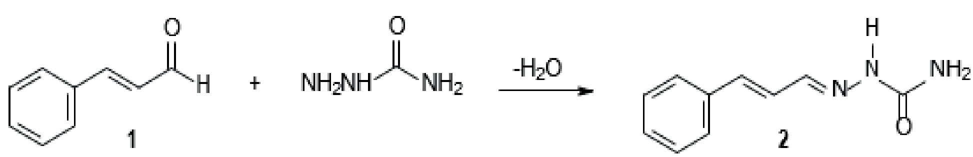
Extração do cinamaldeído da casca da canela por arraste a vapor.

Materiais e reagentes

- Balão de três bocas
- Erlenmeyer
- Manta elétrica
- Condensador
- Funil de separação
- Funil de Büchner
- Tubo de ensaio
- Papel pregueado
- Aquecimento em banho-maria
- Evaporador rotativo
- Casca de canela
- Sulfato de sódio anidro
- Diclorometano
- Semicarbazida
- Acetato de sódio anidro
- Etanol absoluto

Procedimento experimental

Neste experimento será isolado o cinamaldeído (1) a partir do óleo de canela, empregando-se a técnica de destilação por arraste a vapor. Uma vez obtido o cinamaldeído, deve-se separá-lo da solução aquosa através de extrações com diclorometano. Traços de água presentes no solvente deverão ser retirados com a ajuda de um sal dessecante (sulfato de sódio anidro). Como é difícil purificar o composto original ou caracterizá-lo através de suas propriedades físicas, pode-se convertê-lo em um derivado. Este derivado será obtido através da reação do cinamaldeído com semicarbazida. O produto formado é a semicarbazona do cinamaldeído (**2**), um composto cristalino com ponto de fusão bem definido



Monte a aparelhagem para destilação usando um balão de 250 mL. O frasco coletor (125 mL) pode ser um erlenmeyer; a fonte de calor pode ser uma manta elétrica ou um bico de Bunsen.

Coloque 10 g de pedaços de canela num balão de três bocas e adicione 150 mL de água. Inicie o aquecimento de modo a ter uma velocidade lenta, mas constante, de destilação. Durante a destilação continue a adicionar água através do funil de separação, numa velocidade que mantenha o nível original de água no frasco de destilação. Continue a destilação até coletar cerca de 80-90 mL do destilado. Tire a água do funil de separação

e coloque o destilado nele. Extraia o destilado com 4 porções de cloreto de metileno (10 mL). Separe as camadas e despreze a fase aquosa. Seque a fase orgânica com sulfato de sódio anidro. Filtre a mistura em papel pregueado (diretamente em um balão de fundo redondo previamente tarado), lave com uma pequena porção de CH_2Cl_2 e, em seguida, retire o solvente no evaporador rotativo.

Opcionalmente, após a filtração concentre a mistura (utilizando um banho de vapor na capela), transfira o líquido restante para um tubo de ensaio previamente tarado e concentre o conteúdo novamente por evaporação em banho-maria até que somente um resíduo oleoso permaneça. Seque o tubo de ensaio e pese. Calcule a porcentagem de extração de cinamaldeído, baseado na quantidade original de canela usada.

Preparação de um derivado

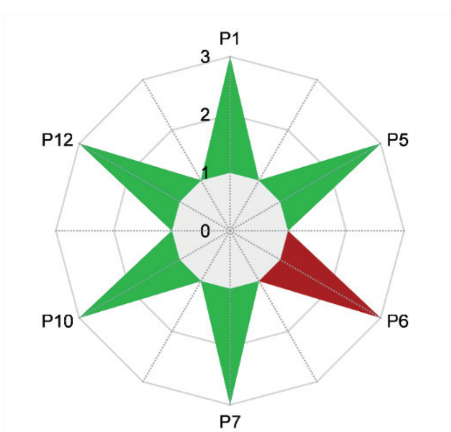
Pese 0,2 g de semicarbazida e 0,3 g de acetato de sódio anidro. Adicione 4 mL de água a esta mistura, adicione 6 mL de etanol absoluto. Junte esta solução ao cinamaldeído e aqueça a mistura em banho-maria por 5 minutos. Resfrie e deixe a semicarbazona do cinamaldeído cristalizar. Filtre em funil de Büchner e deixe secar. Determine o ponto de fusão do sólido obtido e compare com os valores encontrados na literatura.

Estrela Verde do Experimento

A atividade experimental 4.7 foi separada em dois processos, pois considerou-se importante fazer uma avaliação do experimento apenas com a extração e com a preparação de um derivado, esta última usando a EV de 10 pontas no processo global por ter uma etapa de reação de síntese.

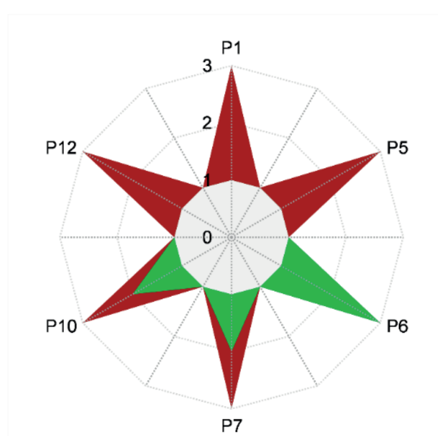
Experimento 4.7A - Extração do cinamaldeído da canela

Reação



IPE=83,3

Isolamento



IPE=33,3

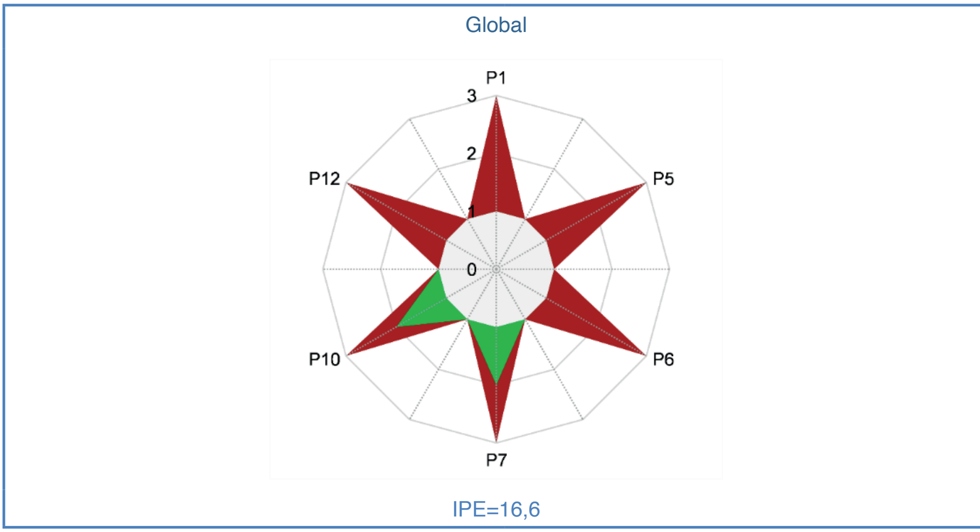


Figura 4.9 – Estrelas Verdes e IPE para etapas de reação, isolamento, purificação e global do Experimento 4.7A — Extração do cinamaldeído da canela
Fonte: dados da pesquisa.

A EV referente à extração do produto (Figura 4.9) apresenta pontuação máxima para os Princípios 1, 5, 7, 8, 10 e 12, por serem usados apenas água e pedaços de canela. A pontuação do Princípio 6 foi reduzida para 1 por ser uma destilação por arraste a vaporem em que se usa uma temperatura acima dos 100°C. Alcançou-se um IPE=83,3 na primeira etapa.

Na segunda etapa é feita o isolamento do produto usando diclorometano, atribuindo-se ao Princípio 6 a pontuação máxima, pois o isolamento é feito a temperatura ambiente. O Princípio 7 e 10 tiveram a pontuação reduzida para 2, pois usam-se substâncias que não são renováveis (P7) e nem todas as substâncias são degradáveis, mas podem ser tratadas (P10). Os Princípios 1, 5 e 12 foram pontuados como verdura mínima, pois entre os resíduos gerados o diclorometano apresenta perigo elevado para a saúde (P1, P5), apresentando perigo elevado de acidente químico (P12). O IPE para o processo global, somando a extração e a purificação, apresentou uma verdura muito baixa IPE=16,6, bem menor do que o IPE da etapa da extração (83,3). Portanto, a etapa de isolamento é determinante para o processo global, diminuindo significativamente a verdura química do experimento.

Experimento 4.7B - Obtenção de um derivado

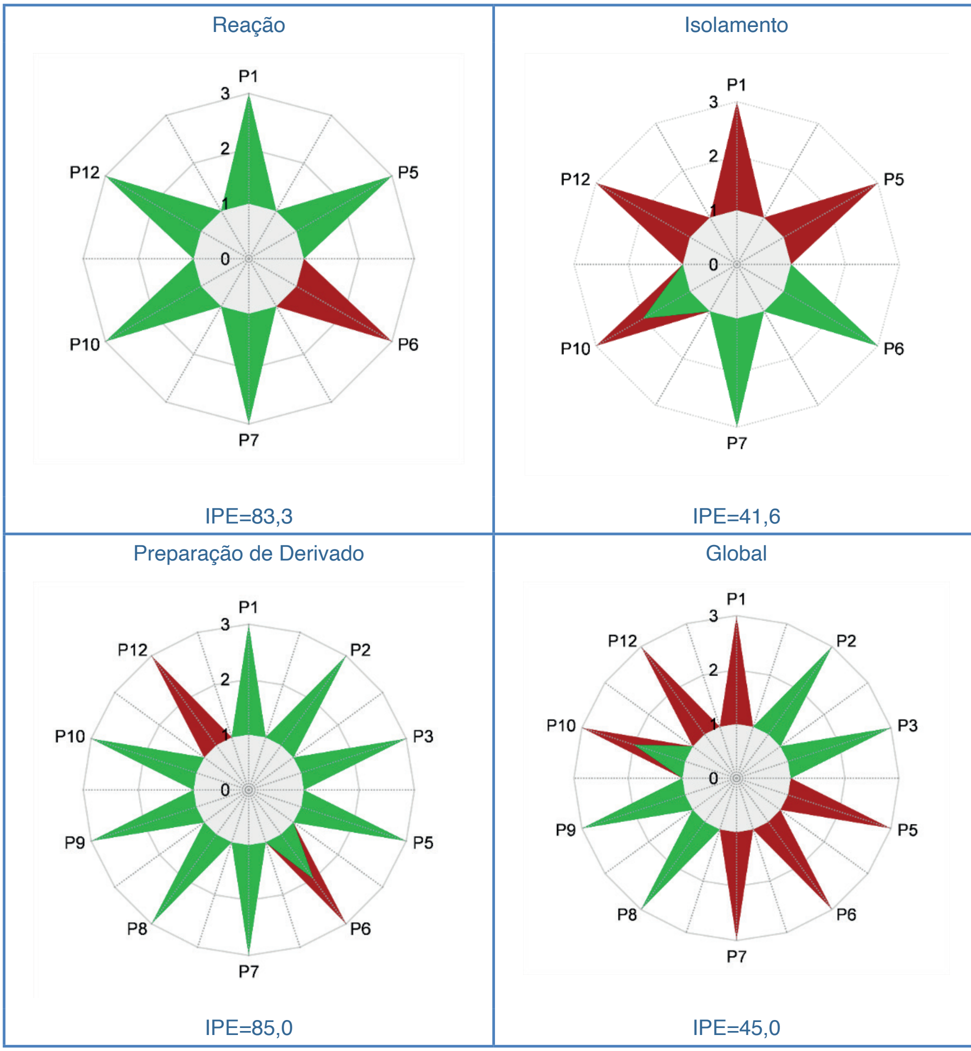


Figura 4.10 – Estrelas Verdes e IPE para etapas de reação, isolamento, síntese de derivado e global do Experimento 4.7B — Obtenção de um derivado

Fonte: dados da pesquisa.

Conforme a Figura 4., durante a extração por arraste a vapor e o isolamento, utilizou-se uma estrela de 6 pontas por não ser uma reação. Portanto, na etapa da extração, os Princípios 1, 5, 7, 9, 12 tiveram pontuação máxima porque todos os resíduos eram inofensivos (P1); não foram utilizados solventes ou substâncias auxiliares (P5); todos os reagentes e matérias-primas envolvidos são renováveis (P7); não há uso de catalisadores (P9); e as substâncias envolvidas não apresentam perigo elevado de acidente químico (P12). Já para o P6, a pontuação foi reduzida para 2 por ser uma destilação, portanto

envolvendo aumento da temperatura. Somou-se um IPE=91,6.

Na segunda etapa foi realizado o isolamento do produto, em que P6 e P7 apresentaram verdura química máxima por ser uma etapa realizada a temperatura ambiente (P6) e todos os reagentes e matérias-primas envolvidos serem renováveis. Já o P10 teve sua pontuação reduzida para 2 por conter substâncias envolvidas que não são degradáveis, mas que podem ser tratadas para obter sua degradação. Para o restante dos Princípios (P1, P5, P12), a pontuação foi mínima, porque teve formação de cloreto de metileno nos resíduos com risco elevado para a saúde (P1); os solventes e substâncias auxiliares apresentam perigo elevado para a saúde (P5); e as substâncias envolvidas apresentam perigo elevado de acidente químico. Ao fim, o IPE para a etapa de isolamento do produto ficou em 41,6.

A terceira parte da atividade experimental é a preparação do derivado semicarbazona a partir do cinamaldeído extraído, em que se usou a EV de 10 pontas. Os Princípios 1, 2, 3, 5, 7, 8 e 9 apresentaram uma pontuação máxima, pois os resíduos gerados são inofensivos para a saúde e o meio ambiente (P1); não houve uso de reagentes em excesso e nem formação de coprodutos (P2); todas as substâncias envolvidas na síntese são inofensivas (P3); os solventes e as substâncias auxiliares usadas não envolvem perigo para a saúde e o meio ambiente (P5); todas as matérias primas-envolvidas são renováveis (P7); a reação acontece em uma única etapa (P8); e não há uso de catalisadores (P9). A pontuação é reduzida para 2 para o Princípio 6, porque a reação é aquecida em banho-maria, e para 1 no Princípio 12, pois as substâncias envolvidas apresentavam perigo elevado de acidente químico. Totalizou-se um IPE=85,00 na etapa da preparação do derivado.

No processo global, considerando as três etapas, observa-se que, mesmo as etapas individuais apresentando um IPE alto, a etapa de extração e a preparação do derivado ficaram acima de 80. Porém, o IPE do processo global ficou relativamente mais baixo do que as etapas separadamente, somando 45,0, devido ao uso de substâncias perigosas nas etapas de isolamento e banho-maria na etapa de síntese do derivado.

8 I EXTRAÇÃO DA CAFEÍNA

Objetivo

Extração da cafeína do chá preto.

Materiais e reagentes

- Erlenmeyer
- Béquer
- Funil de Büchner
- Funil de separação
- Balão de fundo redondo
- Placa de aquecimento ou rotaevaporador
- Chá preto
- Carbonato de cálcio
- Diclorometano
- Acetona
- Éter de petróleo
- Sulfato de sódio anidro

Procedimento experimental

No experimento de hoje será realizada a extração da cafeína das folhas do chá, usando água quente contendo carbonato de cálcio. Por sua vez, a cafeína será extraída dessa fase aquosa com diclorometano. Com a evaporação do solvente obtém-se a cafeína impura. A purificação da cafeína obtida será feita através da técnica de recristalização, utilizando tolueno e éter de petróleo como solventes.

Alcaloides são aminas, e, portanto, formam sais solúveis em água, quando tratados com ácidos. A cafeína encontrada nas plantas apresenta-se na forma livre ou combinada com taninos fracamente ácidos. A cafeína é solúvel em água, então pode ser extraída de grãos de café ou das folhas de chá com água quente. Junto com a cafeína, outros inúmeros compostos orgânicos são extraídos, e a mistura desses compostos é que dá o aroma característico ao chá e ao café. Entretanto, a presença dessa mistura de compostos interfere na etapa de extração da cafeína com um solvente orgânico, provocando a formação de uma emulsão difícil de ser tratada. Para minimizar esse problema utiliza-se uma solução aquosa de carbonato de cálcio. O meio básico promove a hidrólise do sal de cafeína-tanino, aumentando, assim, o rendimento de cafeína extraída.

Em um erlenmeyer de 250 mL coloque 15,0 g de chá preto, 150 mL de água e 7,0 g de carbonato de cálcio. Ferva a mistura com agitação ocasional por 20 minutos, filtre a mistura quente em Büchner e esfrie o filtrado a 10-15°C.

Transfira o filtrado para um funil de separação e extraia a cafeína com 4 porções de 20 mL de cloreto de metileno (extração múltipla com agitação suave para evitar a formação de emulsão). Seque a fase orgânica com sulfato de sódio anidro e filtre por gravidade para um balão de fundo redondo. Evapore o diclorometano usando placa de aquecimento ou rotaevaporador até que se obtenha um volume de 5-7 mL no balão. Transfira então o extrato concentrado para um béquer e evapore o restante do solvente em banho de vapor até a secura. Pese o resíduo esverdeado de cafeína bruta e calcule a percentagem de alcaloide no chá. O resíduo pode ser recristalizado, dissolvendo-o em 2-3 mL de acetona a quente e adicionando algumas gotas de éter de petróleo (p. e. 60-80°C) até formar o precipitado; pesar e calcular o rendimento. Opcionalmente, a recristalização pode ser realizada utilizando-se acetona. Determine o ponto de fusão do cristal e compare-o com o descrito na literatura.

Estrela Verde do Experimento

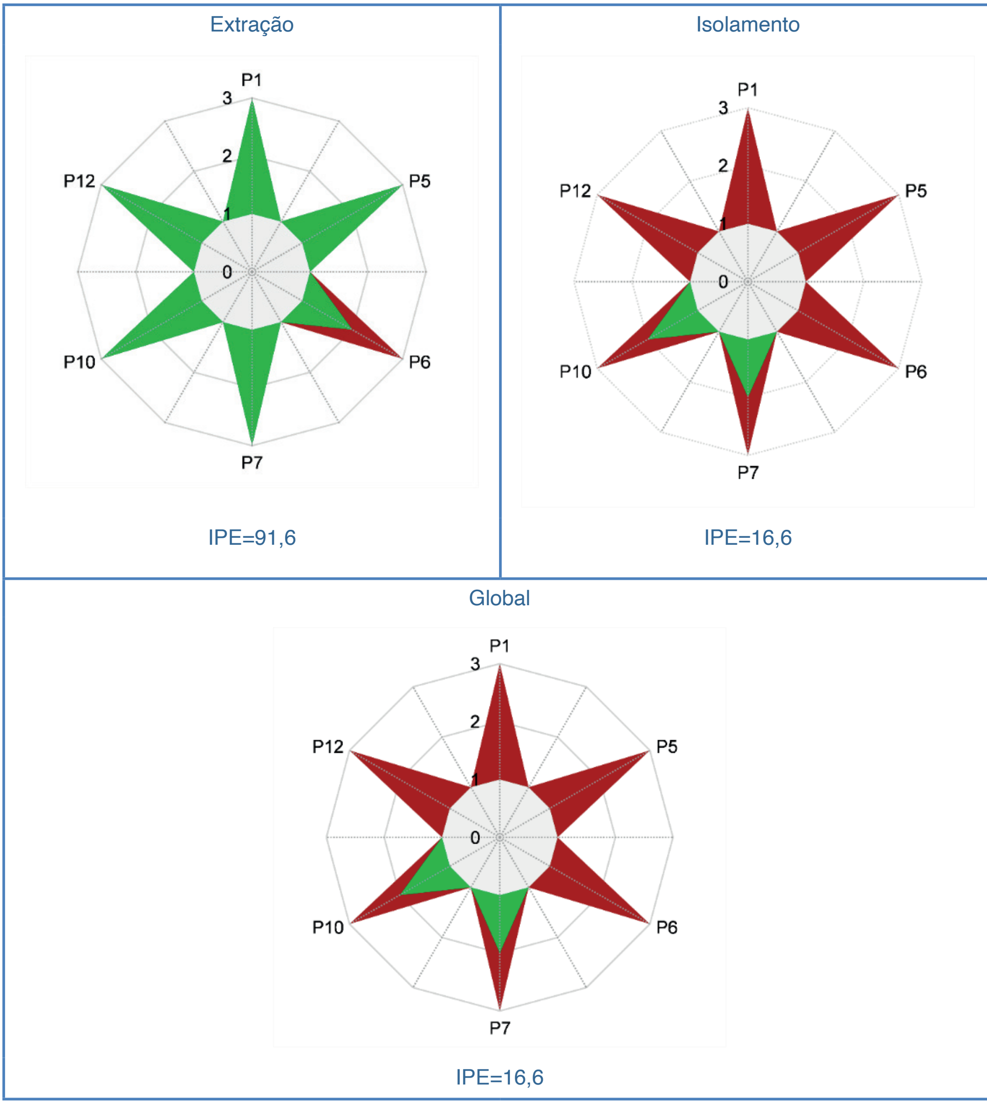


Figura 4.11 – Estrelas Verdes e IPE para etapas de extração, isolamento, purificação e global do Experimento 4.8 —Extração da cafeína

Fonte: dados da pesquisa.

A primeira etapa do experimento teve pontuação máxima para os Princípios 1, 5, 7, 10 e 12, por ser uma extração da cafeína em chá preto com água quente, o que fez somente a pontuação do Princípio 6 diminuir para 2. Somou-se um IPE para a primeira etapa igual a 91,6 (Figura 4.11).

Na segunda etapa, nenhum Princípio teve pontuação máxima: os Princípios 7 e 10

obtiveram pontuação igual a 2, pois nem todas as substâncias usadas são renováveis (P7) e nem todas são degradáveis, mas podem ser tratadas para obter produtos de degradação inofensivos (P10). Aos Princípios 1, 5, 6 e 12 foi atribuída a pontuação mínima, pois teve-se diclorometano nos resíduos com perigo elevado para a saúde (P1, P5); usa-se uma temperatura acima de 100°C para a evaporação do solvente (P6); e as substâncias utilizadas apresentam perigo elevado de acidente químico (P12). Portanto a etapa de isolamento tem IPE=16,6.

O processo global teve uma verdura química baixa, com um IPE igual ao da etapa de isolamento. Assim como na atividade anterior, a etapa de isolamento diminui drasticamente e verdura química.

9 I PREPARAÇÃO DE UM AROMATIZANTE ARTIFICIAL: ACETATO DE ISOAMILA

Objetivo

Sintetizar o aromatizante acetato de isoamila.

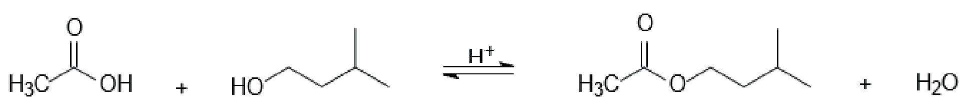
Materiais e reagentes

- Balão de fundo redondo
- Pedras de porcelana
- Aparelhagem de refluxo
- Funil de separação
- Aparelhagem de destilação fracionada
- Ácido acético glacial
- Álcool isoamílico
- Ácido sulfúrico concentrado
- Bicarbonato de sódio
- Sulfato de sódio anidro

Procedimento experimental

Neste experimento será sintetizado o acetato de isoamila (**1)** (acetato de 3-metilbutila), um éster muito usado nos processos de aromatização. Acetato de isoamila tem um forte odor de banana quando não está diluído, e um odor remanescente de pera quando está diluído em solução.

Ésteres podem ser convenientemente sintetizados pelo aquecimento de um ácido carboxílico na presença de um álcool e de um catalisador ácido. O acetato de isoamila**1** será preparado a partir da reação entre álcool isoamílico e ácido acético, usando ácido sulfúrico como catalisador.



1

A reação de esterificação é reversível, tendo uma constante de equilíbrio de aproximadamente 4,20. Para aumentar o rendimento do acetato será aplicado o Princípio de Le Chatelier, usando ácido acético em excesso.

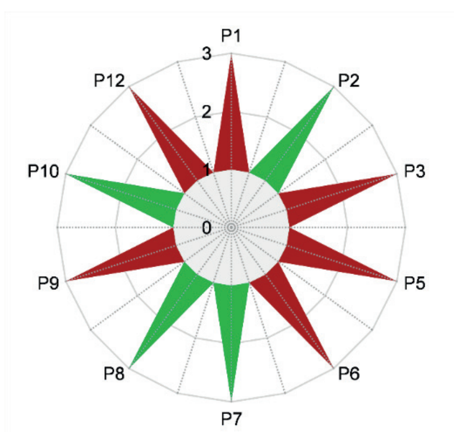
O tratamento da reação visando a separação e isolamento do éster **1** consiste em lavagens da mistura reacional com água e bicarbonato de sódio aquoso, para a retirada das substâncias ácidas presentes no meio. Em seguida, o produto será purificado por destilação fracionada.

Em uma capela, misture 12 mL de ácido acético glacial com 10 mL de álcool isoamílico, num balão de fundo redondo apropriado. Cuidadosamente, acrescente à mistura 0,5 mL de ácido sulfúrico concentrado; adicione então as pedras de porcelana, agite o balão manualmente e refluxe por uma hora.

Terminado o refluxo, deixe a mistura reacional esfriar à temperatura ambiente. Utilizando um funil de separação, lave a mistura com 40 mL de água e, em seguida, duas porções de 20 mL de bicarbonato de sódio saturado. Seque o éster com sulfato de sódio anidro e filtre por gravidade. Destile o éster por destilação fracionada, coletando o líquido que destilará entre 136°C e 143°C, pese e calcule o rendimento.

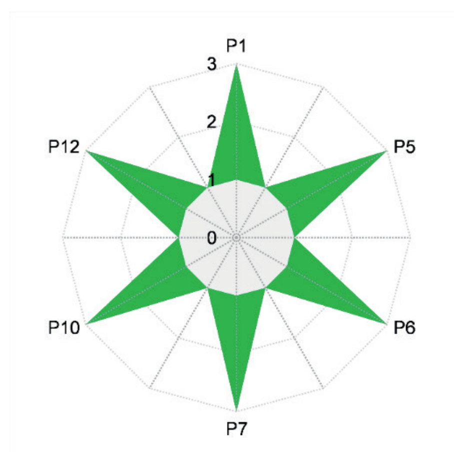
Estrela Verde do Experimento

Reação



IPE=40,0

Isolamento



IPE=100

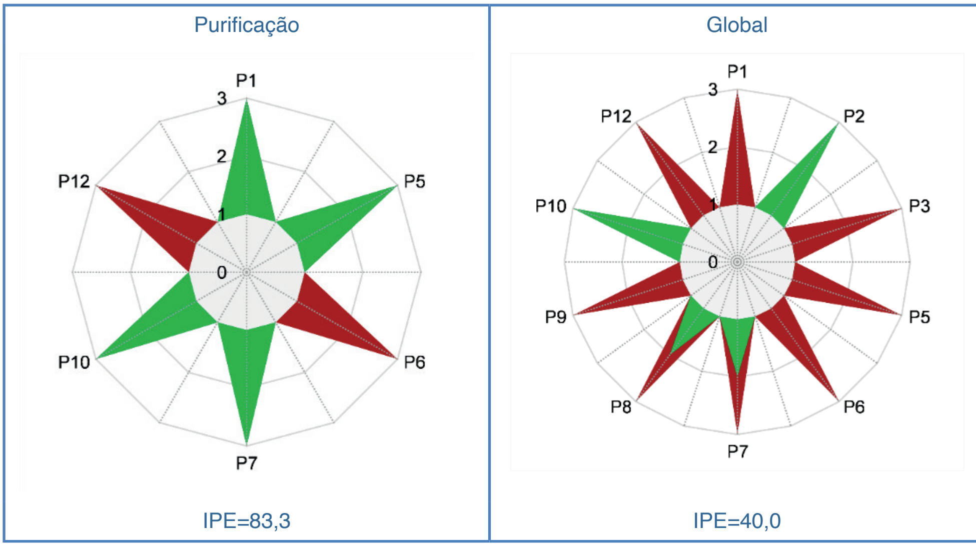


Figura 4.12 – Estrelas Verdes e IPE para etapas de reação, isolamento, purificação e global do Experimento 4.9 — Preparação de um aromatizante artificial: acetato de isoamila

Fonte: dados da pesquisa.

Na primeira parte da atividade experimental, a reação de síntese (Figura 4.12), os Princípios 2, 7, 8 e 10 apresentaram pontuação máxima, porque a reação acontece sem reagentes em excesso e sem formação de coprodutos (P2), todos os reagentes e matérias-primas envolvidos são renováveis (P7), a reação acontece em apenas uma etapa (P8) e todas as substâncias envolvidas são degradáveis (P10). Os demais Princípios (P1, P3, P5, P6, P9, P12) obtiveram pontuação mínima. A presença de ácido sulfúrico nos resíduos e como solvente e de ácido acético glacial como reagente traz perigo elevado para a saúde (P1, P3 e P5). O uso de ácido acético glacial e ácido sulfúrico concentrado tem perigo elevado de acidente químico (P12), resultando em um IPE=40,0 para a etapa de síntese.

A etapa de isolamento do produto apresenta verdura química máxima para todos os Princípios, e a etapa de purificação apresenta apenas verdura química mínima para o Princípio 6, por ocorrer a uma temperatura acima de 100°C. Portanto, a etapa determinante para o processo global é a da síntese do produto, o que acarreta o IPE global igual a 40,0.

10 I PREPARAÇÃO DO CLORETO DE T-BUTILA

Objetivo

Sintetizar do cloreto t-butila através de mecanismo S_N1.

Materiais e reagentes

- Funil de separação
- Erlenmeyer
- Banho-maria
- Banho de gelo
- Aparelhagem de destilação fracionada
- Álcool *t*-butílico
- Ácido clorídrico concentrado
- Cloreto de cálcio anidro
- Solução de bicarbonato de sódio 5%

Procedimento experimental

Neste experimento será realizada a preparação do cloreto de *t*-butila, através do tratamento do *t*-butanol com ácido clorídrico. A reação é rápida e simples, e pode ser efetuada diretamente em um funil de separação. A reação se processa segundo o mecanismo SN1, conforme apresentado anteriormente. Pequenas quantidades de isobutileno podem se formar durante a reação, devido a reações de eliminação competitivas. Sendo que a presença de ácido sulfúrico provoca a formação de quantidades consideráveis desse alceno, a metodologia de preparação de haletos a partir da reação entre álcoois, $H2_SO_4$ e um sal de bromo (NaBr, KBr) deve ser evitada.

Misture em um funil de separação 10 mL de álcool *t*-butílico e 24 mL de ácido clorídrico concentrado. Não tampe o funil. Cuidadosamente agite a mistura do funil de separação durante um minuto; tampe o funil e inverta-o cuidadosamente. Durante a agitação do funil, abra a torneira para liberar a pressão. Feche a torneira, tampe o funil, agite-o várias vezes e novamente libere a pressão. Agite o funil durante dois a três minutos, abrindo-o ocasionalmente (para escape). Deixe o funil em repouso até completa separação das fases. Separe as duas fases.

A operação da etapa subsequente deve ser conduzida o mais rapidamente possível, pois o cloreto de *t*-butila é instável em água e em solução de bicarbonato de sódio. Lave a fase orgânica com 25 mL de água; separe as fases e descarte a fase aquosa. Em seguida, lave a fase orgânica com uma porção de 25 mL de bicarbonato de sódio a 5%. Agite o funil (sem tampa) até completa mistura do conteúdo; tampe-o e inverta-o cuidadosamente. Deixe escapar a pressão. Agite abrindo cuidadosamente para liberar a pressão, eventualmente. Deixe separar as fases e retire a fase do bicarbonato. Lave a fase orgânica com 25 mL de água e novamente retire a fase aquosa. Transfira a fase orgânica para um erlenmeyer seco e adicione cloreto de cálcio anidro (ou Na_2SO_4 anidro). Agite ocasionalmente o haleto de alquila com o agente secante. Decante o material límpido para um frasco seco. Adicione pedras de ebulição e destile o cloreto de *t*-butila em aparelhagem de destilação fracionada seca, usando banho-maria. Colete o haleto em um recipiente com banho de gelo. Pese e calcule o rendimento.

Estrela Verde do Experimento

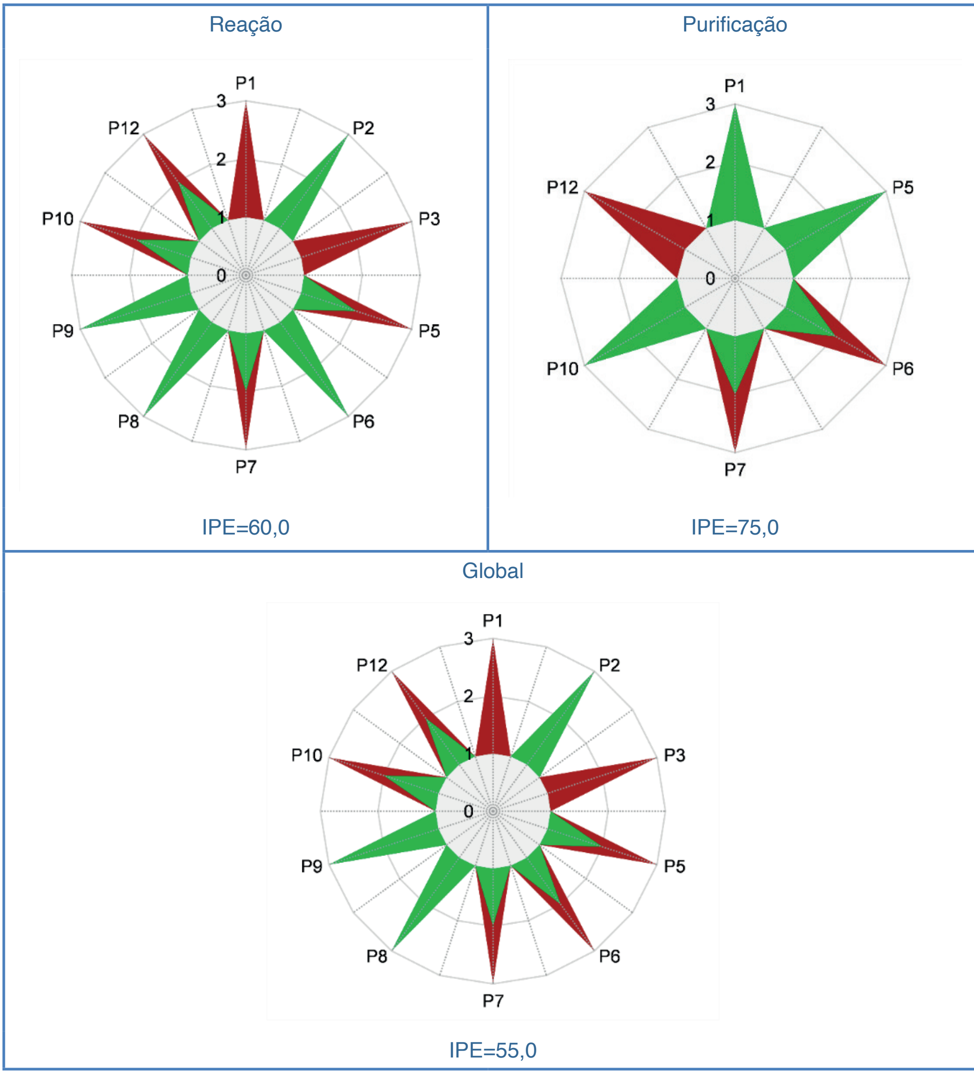


Figura 4.13 – Estrelas Verdes e IPE para etapas de reação, isolamento, purificação e global do Experimento 4.10 — Preparação do cloreto de t-butila

Fonte: dados da pesquisa.

A EV para a reação de síntese do cloreto de t-butila (Figura 4.13) tem pontuação máxima para os Princípios 2, 6, 8 e 9, por não ter formação de coprodutos e nem uso de reagentes em excesso (P2), a reação ser realizada em temperatura ambiente (P6), acontecer em apenas uma etapa (P8), e não serem usados catalisadores (P9). A pontuação é reduzida a 2 para os Princípios 5, 7, 10 e 12, porque, dentre os solventes utilizados, o cloreto de cálcio apresenta risco moderado para a saúde (P5), ao menos um dos reagentes

(álcool t-butílico) é proveniente de fontes renováveis (P7), todas as substâncias envolvidas que não são degradáveis podem ser degradadas a produtos inofensivos (P10) e as substâncias envolvidas apresentam perigo moderado de acidente químico (P12). Formou-se uma EV com IPE=60,0 para a etapa de síntese.

O experimento não possui etapa de isolamento do produto. A etapa de purificação apresentou verdura química máxima para os Princípios 1, 5 e 10, porque todos os resíduos gerados são inofensivos (P1), todos os solventes e substâncias auxiliares não apresentam risco para a saúde e o meio ambiente (P5) e todas as substâncias envolvidas são degradáveis (P10). A pontuação diminuiu para 2 no restante dos Princípios, pois a purificação se deu pela técnica de destilação fracionada, com uma temperatura superior a temperatura ambiente e inferior a 100°C (P6), e o uso de substâncias que apresentam perigo moderado de acidente químico (P12), alcançando um IPE=75,0.

No processo global o IPE ficou relativamente baixo, quando comparado com as etapas em separado (IPE=55,0). A destilação fracionada fez a verdura química do Princípio 6 cair no processo global.

11 I DESIDRATAÇÃO DE ÁLCOOIS E OBTENÇÃO DO CICLOEXENO A PARTIR DO CICLOEXANOL

Objetivo

Sintetizar cicloexeno a partir do cicloexanol.

Materiais e reagentes

- Balão de fundo redondo
- Fragmentos de porcelana porosa
- Manta de aquecimento
- Coluna de fracionamento
- Condensador
- Balão ou proveta
- Funil de separação
- Erlenmeyer
- Cicloexanol
- Ácido fosfórico concentrado
- Cloreto de sódio
- Carbonato de sódio 5%
- Cloreto de cálcio anidro
- Solução aquosa de bromo
- Tetracloreto de carbono
- Permanganato de potássio 5%
- Ácido sulfúrico

Procedimento experimental

A síntese do cicloexeno a partir da desidratação do cicloexanol será investigada neste experimento. O procedimento escolhido para esta experiência envolve a catálise com ácido sulfúrico ou ácido fosfórico. Melhores resultados são obtidos quando o ácido fosfórico é empregado, pois o ácido sulfúrico provoca carbonização e formação de óxido de enxofre, além da possibilidade de fornecer produtos secundários através de reações de polimerização. Quando uma mistura contendo cicloexanol e o ácido é aquecida num recipiente equipado com coluna de fracionamento, ocorre a formação de água através da reação de eliminação. Água e cicloexeno destilam pelo Princípio da destilação em corrente

de vapor. Terminada a destilação, a coluna fica saturada com a mistura água cicloexano que refluxa e não destila. Para auxiliar na destilação do produto desejado, um outro solvente é adicionado e a destilação é contínua. Um solvente aconselhado é o xileno (P.E. = 140ºC). Quando seus vapores destilam, carregam o cicloexeno mais volátil para fora da coluna. A diferença entre o ponto de ebulição do cicloexeno e do xileno é suficiente para uma separação adequada. É importante notar que a não utilização de um solvente carregador acarreta um decréscimo considerável no rendimento.

Coloque 5,0 g de cicloexanol comercial e 1 mL de ácido fosfórico concentrado em um balão de fundo redondo de 50 mL, adicione alguns fragmentos de porcelana porosa e misture bem. Ajuste o balão a um sistema para destilação fracionada, inicie o aquecimento e controle para que a temperatura na extremidade superior da coluna não exceda a 90ºC. Colete o destilado em um balão ou uma proveta.

Pare a destilação quando restar apenas um pouco de resíduo a ser destilado. Deixe esfriar um pouco. Em seguida, transfira o destilado para um pequeno funil de separação. Sature o destilado com cloreto de sódio, adicione 2 mL de carbonato de sódio a 5% (para neutralizar traços de ácido livre) e agite. Despeje o cicloexeno bruto pela boca do funil para o interior de um erlenmeyer, adicione 3-4 g de cloreto de cálcio anidro, agite por 2-3 minutos e deixe em repouso por 15 minutos com agitação ocasional. Filtre para um balão de destilação de 25-50 mL, adicione fragmentos de porcelana porosa e destile o cicloexeno, utilizando novamente um sistema para destilação fracionada. Colete a fração de P.E. = 81 – 83C.

Reações de caracterização

Agite 0,5 mL de cicloexeno com 1 mL de água de bromo e registre o resultado.

Adicione 1-2 mL de solução de bromo em tetracloreto de carbono a 0,5 mL de cicloexeno.

Observe se há desprendimento de gás bromídrico.

Adicione 0,5 mL de cicloexeno a 1 mL de solução de permanganato de potássio a 5% e 0,5 mL de ácido sulfúrico diluído e agite. Se o meio reacional descorar, adicione pequenas quantidades a mais da solução oxidante.

Adicione cautelosamente 0,5 mL de cicloexeno a 1 mL de ácido sulfúrico concentrado. Agite suavemente. Observe se ocorre alguma mudança na cor ou na temperatura.

Estrela Verde do Experimento

Experimento 4.11A — Obtenção do cicloexeno a partir do cicloexanol sem caracterização

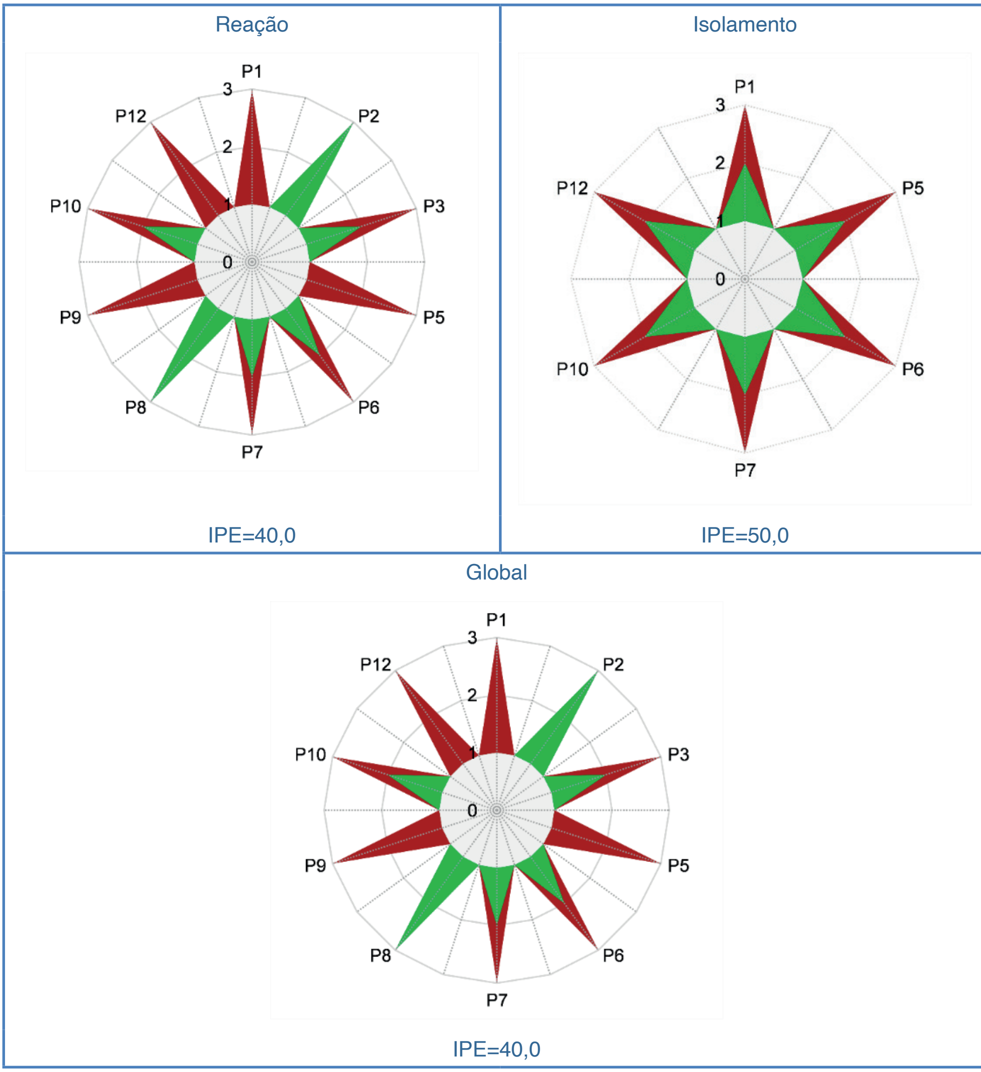


Figura 4.14 – Estrelas Verdes e IPE para etapas de reação, isolamento, purificação e global do Experimento 4.11A — Desidratação de álcoois e obtenção do cicloexeno a partir do cicloexanol: sem caracterização

Fonte: dados da pesquisa.

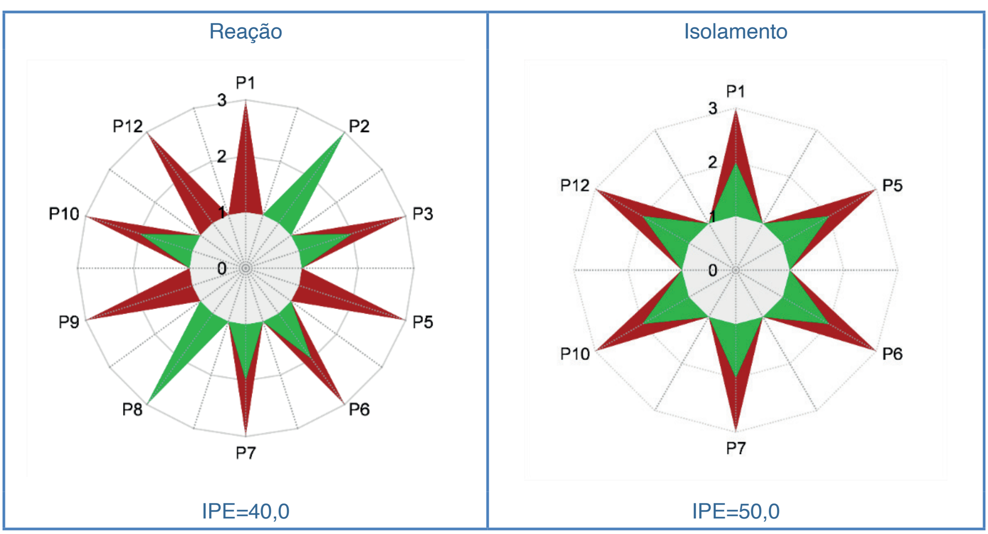
A EV referente à reação de desidratação sem caracterização (4.11 A) apresentou apenas dois Princípios com pontuação máxima (Figura 4.14): o Princípio 2, por ser uma reação realizada sem reagentes em excesso e sem formação de coprodutos; e o Princípio 8, por ser uma reação com apenas uma etapa. A pontuação é reduzida para 2 nos Princípios

3, 6, 7 e 10, pois utiliza-se cicloexanol, que tem risco moderado para a saúde e meio ambiente (P3), a reação acontece a uma temperatura de 90°C (P6), a renovabilidade é garantida a pelo menos um dos reagentes, que neste caso é o cicloexanol (P7), e todas as substâncias envolvidas podem ser tratadas levando a produtos de degradação inofensivos (P10). Já os demais Princípios tiveram pontuação mínima: o P1 ficou baixo por possuir ácido fosfórico nos resíduos com perigo elevado para a saúde, P5 por usar ácido fosfórico como solvente com perigo elevado para a saúde e P12 por ter substâncias envolvidas que apresentam perigo elevado de acidente químico. Formou-se uma EV com IPE igual a 40,0.

No isolamento do produto, todos os Princípios da EV obtiveram a pontuação 2, porque o procedimento usa solventes e forma resíduos com risco moderado para a saúde (P1 e P5), o reagente utilizado é renovável (P7), todas as substâncias envolvidas podem ser levadas a um processo de degradação com produto da degradação inofensivos (P10) e as substâncias envolvidas apresentam perigo moderado de acidente químico (P12), alcançando um IPE=50,0.

A atividade experimental não possui purificação, portanto o processo global é composto pela reação de síntese e o isolamento do produto. Observa-se o IPE global igual a 40,0, sendo a EV idêntica à da primeira etapa (a reação). Assim, pode-se considerar a primeira etapa como sendo a etapa determinante do processo global.

Experimento 4.11B — Obtenção do cicloexeno a partir do cicloexanolcom caracterização



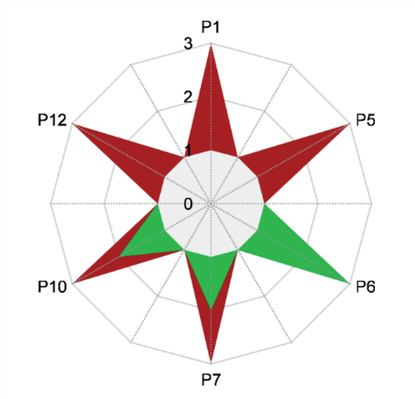
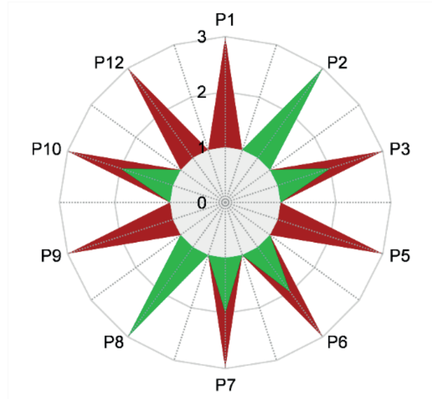
Caracterização	Global
	
IPE=33,3	IPE=40,0

Figura 4.15 – Estrelas Verdes e IPE para etapas de reação, isolamento, caracterização e global do Experimento 4.11B — Desidratação de álcoois e obtenção do cicloexeno a partir do cicloexanol: com caracterização

Fonte: dados da pesquisa.

A segunda parte do experimento (4.11B) considera a etapa de caracterização do produto, sendo que a etapa de reação e isolamento são idênticas à da atividade experimental 4.11A (Figura 4.15).

Na EV de caracterização do produto, somente o Princípio 6 apresentou pontuação máxima, por ser uma etapa realizada com temperatura e pressão ambientes. Os Princípios 7 e 10 têm sua pontuação reduzida para 2 pelo uso de substâncias que não são renováveis (P7) e substâncias que não são degradáveis podem ser tratadas gerando produtos de degradação inofensivos (P10). Os Princípios 1, 5 e 12 tiveram pontuação mínima, pois há formação de vários resíduos (água de bromo, tetracloreto de carbono, permanganato de potássio, ácido sulfúrico concentrado) com risco elevado para a saúde e meio ambiente (P1), usam-se solventes com perigo elevado para a saúde e o meio ambiente (P5) e usam-se substâncias com perigo elevado de acidente químico (tetracloreto de carbono, permanganato de potássio, ácido sulfúrico concentrado (P12). Deste modo, o IPE da etapa de caracterização foi 33,33.

Contudo, a caracterização não teve influência no processo global e pode-se observar que as EV do processo global das atividades experimentais 11A e 11B tiveram um IPE global igual a 40,00.

12 I OXIDAÇÃO DO CICLOEXANOL: SÍNTESE DA CICLOEXANONA

Objetivo

Sintetizar a cicloexanona a partir da oxidação do clicloexanol.

Materiais e reagentes

- Balão de três bocas
- Funil de adição
- Tampa esmerilhada
- Condensador
- Banho de gelo
- Funil de separação
- Evaporador rotativo
- Aparelhagem de destilação fracionada
- Cicloexanol
- Ácido acético glacial
- Solução de hipoclorito de sódio 0,74mol L^{-1}
- Solução saturada de bissulfito de sódio
- Diclorometano
- Solução saturada de bicarbonato de sódio
- Carbonato de potássio anidro

Procedimento experimental

Em um balão de 3 bocas de 250 mL são conectados um funil de adição, uma tampa esmerilhada e um condensador. Adicione ao balão de três bocas 8,0 mL de cicloexanol e 4,0 mL de ácido acético glacial. Ao funil de adição são transferidos 130 mL de solução 0,74 mol L^{-1} de hipoclorito de sódio (água sanitária comercial).

Inicie a adição de hipoclorito de sódio sobre a mistura cicloexanol-ácido acético, cuidadosamente, por um período de 20-25 minutos. Ajuste a velocidade de adição de tal forma que a temperatura da reação seja mantida entre 40-45°C (monitorada através da imersão de um termômetro diretamente na reação). Esfrie a reação com o auxílio de um banho de gelo-água se a temperatura exceder 45°C, mas não permita que a temperatura chegue abaixo de 40°C, o que deve causar uma diminuição no rendimento. Agite o sistema ocasionalmente enquanto a adição ocorre, permitindo uma melhor homogeneização do sistema.

Após a adição completa da solução de hipoclorito, deixe a reação em repouso por 15-20 minutos, agitando-a ocasionalmente. Em seguida, adicione 2-3 mL de uma solução saturada de bissulfito de sódio, agite a mistura e transfira-a para um funil de separação. Proceda a extrações com diclorometano (2X 20 mL), junte os extratos orgânicos e lave cuidadosamente com uma solução saturada de $NaHCO_3$ (2X 20 mL). Seque a fase orgânica com carbonato de potássio anidro (ou sulfato de sódio anidro), filtre diretamente para um balão e retire o solvente (evaporador rotativo). Transfira o material obtido para um balão menor e proceda a uma destilação fracionada para a purificação da cicloexanona. Calcule o rendimento da reação.

Opcionalmente, o tratamento da reação pode ser efetuado através de uma destilação por arraste a vapor. Após a etapa de adição de uma solução saturada de bissulfito de sódio, adicione sobre a reação cerca de 25 mL de NaOH 6 mol L^{-1}, destile por arraste a vapor e colete cerca de 40-50 mL de destilado. Adicione 5 g de NaCl ao destilado, transfira a mistura

para um funil de separação e separe as fases. Seque a fase orgânica com carbonato de potássio anidro (ou sulfato de sódio anidro), filtre o produto de reação para um frasco previamente tarado e calcule o rendimento.

Estrela Verde do Experimento

Experimento 4.12A — Síntese da cicloexanona: reação com água sanitária

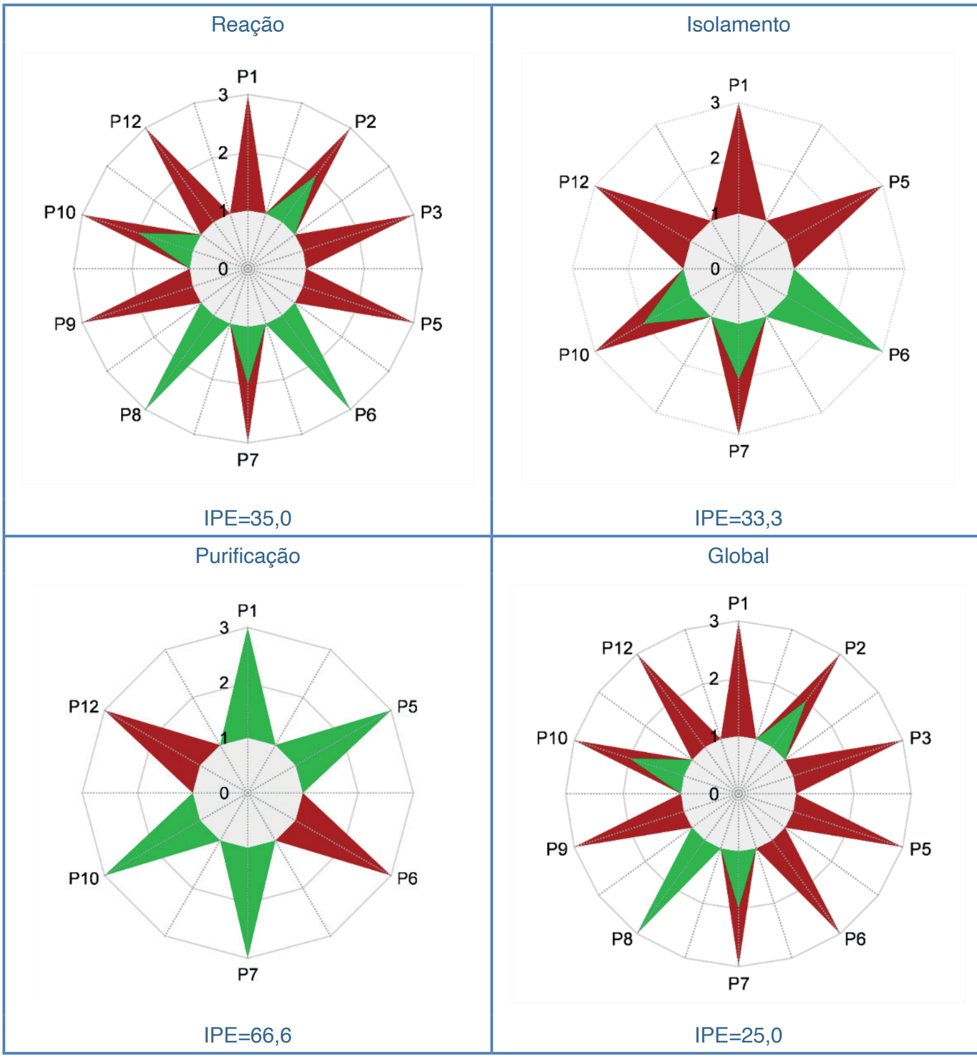


Figura 4.16 – Estrelas Verdes e IPE para etapas de reação, isolamento, purificação e global do Experimento 4.12A — Oxidação do cicloexanol: síntese da cicloexanona (com água sanitária)

Fonte: dados da pesquisa.

Na atividade experimental 12A (Figura 4.16), a EV para a reação de síntese da cicloexanona tem pontuação máxima apenas para os Princípios 6 e 8, pois a reação

acontece com pressão e temperatura ambiente (P6) e em uma única etapa (P8). Para os Princípios 2, 7 e 10 a pontuação é reduzida para 2, pois há formação de cloreto de sódio como coproduto (P2), nem todas as substâncias envolvidas são renováveis (P7) e nem todas as substâncias envolvidas são degradáveis, mas podem ser tratadas (P10). Aos Princípios 1, 3, 5, 9 e 12 foi atribuída a pontuação mais baixa, pois há a presença de ácido acético, hipoclorito de sódio e bissulfito de sódio nos resíduos, com perigo elevado para a saúde (P1), o cicloexanol envolvido na síntese apresenta perigo moderado para a saúde e ambiente (P3), ácido acético, hipoclorito de sódio e bissulfito de sódio são usados como solvente e substâncias auxiliares, apresentando perigo elevado para a saúde (P5) e são utilizadas substâncias não degradáveis no processo (P12), o que levou o IPE ao valor de 30,0 para a etapa de síntese da atividade.

A etapa do isolamento do produto acontece em temperatura ambiente (P6), logo é atribuída a pontuação máxima. A pontuação é reduzida para 2 nos Princípios 7 e 10, porque são utilizados reagentes não renováveis (P7) e há a utilização de substâncias não degradáveis (P10). Atribui-se a pontuação mínima para os Princípios 1, 5 e 12, pois tem-se a presença de diclorometano nos resíduos e como solvente, com perigo elevado para a saúde (P1 e P5) e perigo elevado de acidente químico (P12). Obtém-se, desta forma, que a EV do isolamento da cicloexanona tem IPE=33,3.

Na etapa da purificação, a EV tem pontuação máxima para os Princípios 1, 5, 7, 10 e tem pontuação mínima para os Princípios 6 e 12 porque há um aumento da temperatura (P6) e a cicloexanona que está sendo purificada tem perigo elevado para acidente químico (P12). Desta forma, obtém-se um IPE=66,6 na purificação do produto final.

Ao considerar todas as etapas, o IPE global foi de 25,0. A etapa de purificação foi responsável por baixar a pontuação dos P6 e P12, ao empregar processos com alta temperatura e substâncias com perigo de acidente.

Experimento 4.12B — Síntese da cicloexanona: reação com dicromato de sódio

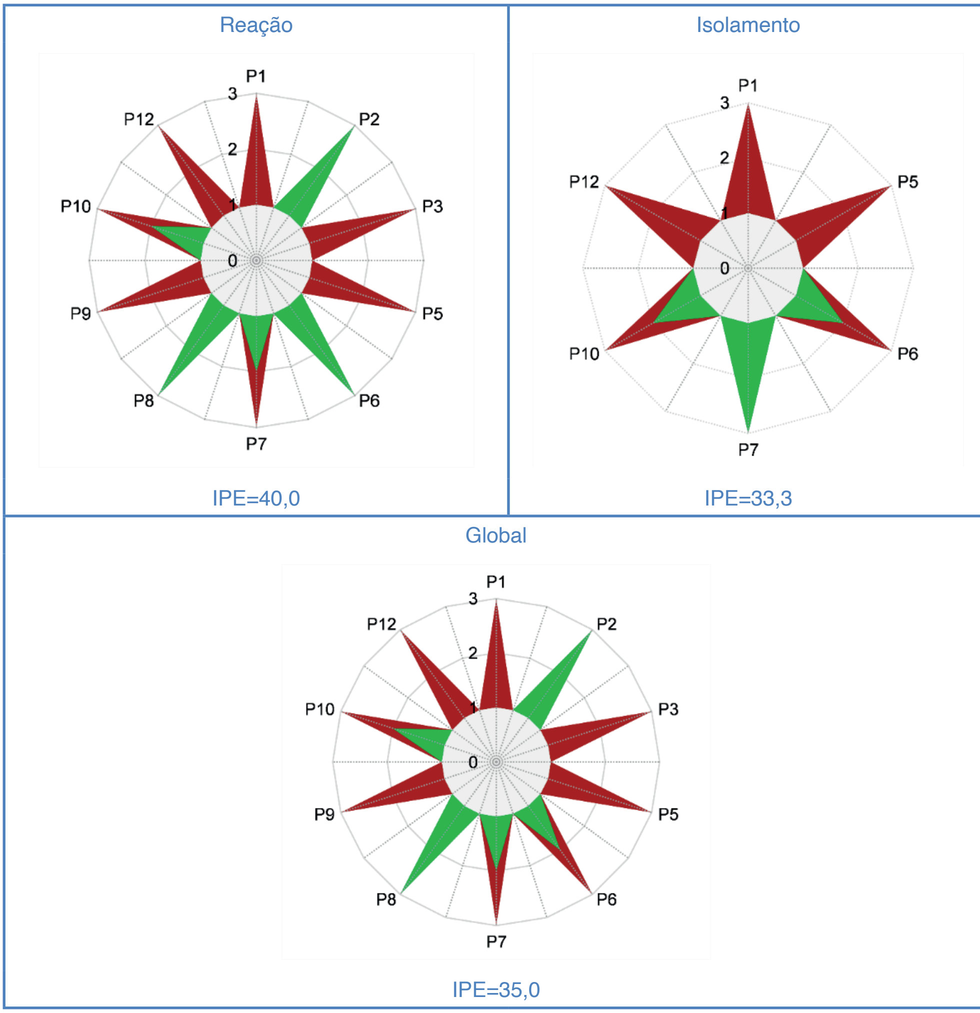


Figura 4.17 – Estrelas Verdes e IPE para etapas de reação, isolamento, purificação e global do Experimento 4.12B — Oxidação do cicloexanol: síntese da cicloexanona (com dicromato de sódio)

Fonte: dados da pesquisa.

Na atividade experimental 12B (Figura 4.17), a EV da etapa de reação usando dicromato de sódio apresenta um IPE superior a mesma síntese utilizando água sanitária. A síntese com uso de dicromato de sódio tem pontuação máxima para os Princípios 2, 6 e 8, pois não usa reagentes em excesso e nem tem formação de coprodutos (P2), além de a reação acontecer em uma única etapa (P8). Os Princípios 7 e 10 têm sua pontuação diminuída para 2, pelo fato de nem todas as substâncias envolvidas serem renováveis (P7) e degradáveis (P10). Os Princípios 1, 3, 5, 9 e 12 têm pontuação mínima, devido ao uso de ácido sulfúrico concentrado e ácido oxálico, com perigo elevado para a saúde (P1), ao uso

de cicloexanol como reagente, com perigo moderado para a saúde e meio ambiente (P3), ao uso de solventes e substâncias com risco elevado para a saúde e ao meio ambiente (P5) e ao fato de as substâncias envolvidas apresentarem perigo elevado de acidente químico (P12). Portanto, a primeira etapa do experimento apresenta um IPE=40,0.

Na segunda etapa, todos os reagentes envolvidos são renováveis e é atribuída a pontuação máxima ao P7. Os Princípios 6 e 10 têm a pontuação reduzida a 2, por elevar-se a temperatura acima das condições ambiente (P6) e por envolver substâncias que não são degradáveis, mas que possam ser tratadas para obter sua degradação levando a produtos inofensivos (P10). A pontuação é mínima para os Princípios 1, 5 e 12, porque se tem a presença de diclorometano nos resíduos e solvente, com risco elevado para a saúde (P1 e P5) e perigo elevado de acidente químico (P12). Obteve-se o IPE=33,3.

A síntese da cicloexanona com a utilização de dicromato de sódio não tem a etapa de purificação. Portanto, considerando as etapas de reação e isolamento, o IPE ficou igual a 35,0. O isolamento foi responsável por baixar a verdura, ao usar processos fora da temperatura ambiente.

13 I CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma atividade experimental com IPE igual ou superior a 50,0 seria uma atividade com uma verdura química significativa, que atende os Princípios da QV. Observamos que apenas dois experimentos atendem a esse critério: a atividade experimental 2 (destilação) e a atividade experimental 10 (preparação do cloreto de t-butila), como mostra Figura 4.18.

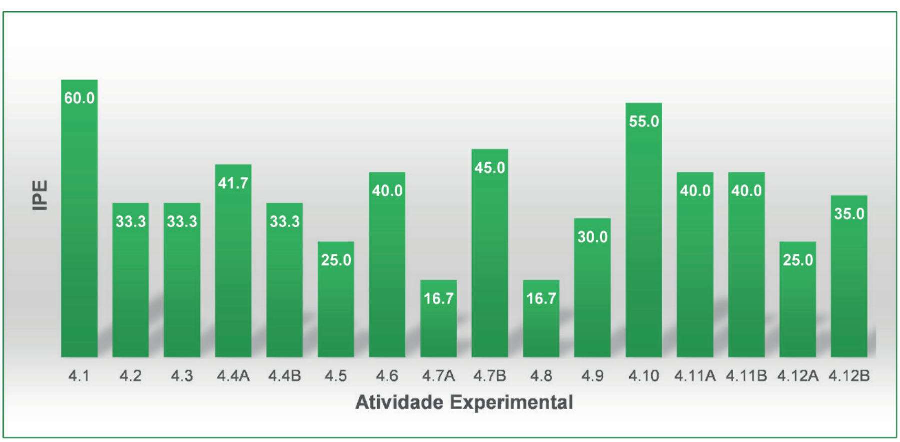


Figura 4.18 – Valores de IPE (global) das atividades experimentais de Química Orgânica

Fonte: dados da pesquisa.

13.1 Atividades experimentais com sínteses

Aproximadamente 22% das atividades experimentais com síntese podem ser

consideradas como processos com uma verdura química aceitável, cujo IPE está acima de 50. Assim, a EV mostra-se também como um instrumento analítico, indicador para possíveis correções e alterações, visando a mudanças eventuais nos roteiros e na organização das atividades de um curso, para se buscar práticas mais quimicamente verdes.

Por exemplo, ao analisar os experimentos 4.12A e 4.12B, observa-se que mesmo utilizando o dicromato de sódio (4.12B), que apresenta risco elevado para a saúde e ao meio ambiente, a verdura química ficou superior à verdura química da Atividade 4.12A, em que a reação acontecia utilizando água sanitária. Tal diferença pode decorrer do uso de solventes diferentes nas duas sínteses ou pelo fato da Atividade 4.12B ter uma etapa a mais (purificação), quando comparada com a 4.12A.

Nas EV das atividades experimentais 4.6, 4.9, 4.11A, 4.11B, 4.12A e 4.12B é fácil notar que seria possível aumentar a verdura química ao otimizar os Princípios 1, 3, 5 e 12, realizando as mesmas atividades com reagentes e solventes menos perigosos tanto para a saúde e o meio ambiente, quanto para se evitar acidentes químicos, obtendo-se os mesmos resultados químicos e pedagógicos.

13.2 Atividades experimentais sem sínteses

Entre as atividades envolvendo procedimentos sem sínteses, todas tiveram verdura química inferior a 50, como mostra Figura 4.18.

Muitas das atividades experimentais acontecem em apenas uma etapa (Experimentos 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5) e a análise da EV global auxilia a propor melhores resultados em relação à verdura química. Os princípios que mais diminuíram a verdura química dessas atividades com apenas uma etapa foram aqueles relacionados ao uso de substâncias tóxicas e perigosas, levando os Princípios 1, 5 e 12 ao valor mínimo. Os Princípios 7 e 10 geralmente obtiveram valor médio de verdura química nessas atividades. Assim, essas EV apontam que esses processos podem ser melhorados ao se buscar alternativas mais renováveis, degradáveis e menos perigosas.

As atividades com mais de uma etapa podem ser divididas em dois grupos: aquelas com sínteses e as sem síntese. Entre as atividades com sínteses, a etapa determinante para a verdura química foi a de reação, conforme observado nas atividades experimentais 4.1, 4.6, 4.7B, 4.9, 4.10, 4.11A, 4.11B, 4.12A e 4.12B. Já para as atividades sem síntese (7A e 8), a etapa mais influente na verdura química foi o isolamento.

Essa diferença entre as etapas determinantes para a verdura pode decorrer do fato de as atividades de síntese possuírem mais etapas e, por conseguinte, maior probabilidade de uso de substâncias perigosas, formação de produtos ou subprodutos perigosos, maiores gastos energéticos e outros fatores que têm a possibilidade de ir contra os 12 Princípios da QV. Para atividades sem síntese, a ideia parece ser de que quanto mais etapas, maior a probabilidade de se fazer uso de uma substância ou processo perigoso, podendo diminuir a verdura química global.

É interessante olhar atentamente para as atividades 4.11 e 4.12, que individualmente realizam comparações entre pequenas alterações nos processos: na atividade 4.11, contrasta-se a atividade com e sem caracterização do produto; em 12, confrontam-se os resultados de verdura química ao se alterar o reagente oxidante. Embora a etapa de reação tenha sido bastante influente para a verdura global, nas duas atividades as etapas extras que foram necessárias para realizar as comparações também contribuíram para alterar o valor de verdura química final.

As análises acima demonstram a riqueza de informações que pode ser derivada do uso da EV para avaliação da verdura de processos químicos, independente de contarem com etapa de síntese ou não. Por meio da EV, é possível avaliar a influência de etapas extras (de isolamento e purificação) no IPE global e, a partir dos valores de verdura química em cada Princípio, apontar os caminhos necessários para melhorar o IPE do processo como um todo. Contudo, é necessário cautela ao se fazer comparações entre valores de IPE e avaliações por meio da EV, conforme discutiremos abaixo.

Um fato que pode chamar a atenção é que as duas atividades com os piores IPE globais de toda a análise foram a 4.7A e 4.8, que não possuem síntese, o que contraria a noção de que atividades com síntese seriam menos verdes quimicamente. Porém, essa comparação não é válida, por dois fatores: os valores de IPE são matematicamente incomensuráveis; as atividades são incomparáveis em seus resultados práticos. No âmbito matemático, é necessário notar que em EV com seis pontas (aquelas de processos sem sínteses), cada Princípio (ou ponta da Estrela) contribui com $1/6$ do valor do IPE; já para EV de 10 pontas (para processos com sínteses), cada Princípio tem um impacto menor no IPE total, 1/10 do total. Assim, o cumprimento de algum Princípio tem peso diferente na mensuração de um IPE em processos com síntese ou sem síntese.

O mais importante, no entanto, é a questão da incomparabilidade prática. Suponha que você queira produzir vanilina e tenha à disposição dois processos: extração do óleo essencial da planta baunilha e síntese da essência artificial. Como os dois processos têm o mesmo resultado prático (produzir essência de baunilha), representando caminhos distintos para o mesmo objetivo, é possível compará-los e escolher o processo cujo IPE seja mais elevado. Agora considere o caso da Atividade 4.7A (Destilação por arraste de vapor para extração do cinamaldeído da canela) e a 4.12A (Oxidação do cicloexanol: síntese da cicloexanona com água sanitária). Não há sentido em comparar as duas atividades, pois os resultados e objetivos são diferentes, tanto do ponto de vista químico, quanto pedagógico. Na Atividade 4.7A, o objetivo pedagógico é desenvolver habilidades práticas relacionadas à destilação a vapor e o objetivo químico é extrair o cinamaldeído. Na atividade 4.12A, o objetivo é discutir a oxidação de álcoois e a influência do reagente oxidante. Por isso, é necessário ter atenção e cuidado na comparação entre os dois sistemas, levando em consideração os objetivos das atividades e a sua natureza química.

ATIVIDADES EXPERIMENTAIS DA DISCIPLINA DE QUÍMICA INORGÂNICA EXPERIMENTAL I[1]

Douglas Janiel Lunkes

Santiago Francisco Yunes

Patricia Link Rüntzel

Assim como no capítulo anterior, a apresentação dos experimentos, suas análises e metrificações foram desenvolvidas a partir das apostilas disponibilizadas na disciplina de Química Inorgânica Experimental I no ano de 2021 (QUÍMICA INORGÂNICA..., 2021), sendo que o texto e as informações das apostilas foram simplificados.

Para todas as atividades experimentais aqui analisadas, os reagentes, solventes, produtos e resíduos foram inventariados e os perigos dessas substâncias foram pesquisados por meio das FISPQ disponíveis online, registrando essas informações conforme o modelo na Tabela 3.4. Em seguida, foram utilizadas planilhas do programa Microsoft Excel (disponível no Ambiente Temático Virtual - Química Verde) para a construção de um gráfico radial, a EV, conforme explicado na seção 3.2 Construção da Estrela Verde. Com base nesta metodologia, foi construída uma Estrela Verde para cada experimento analisado e, junto com elas, o seu valor de IPE.

Os materiais para gerar a EV em salas de aula ou laboratórios podem ser consultados em Apêndice A. Alternativamente, a EV pode ser gerada por meio de uma calculadora virtual, disponível na página do Quimidex.

1 | PREPARAÇÃO DO TRISACETILACETONATO DE ALUMÍNIO (III)

Objetivos

Preparação do composto; cálculo de rendimento; comportamento do alumínio (composto de coordenação em elementos de não-transição).

Materiais e reagentes

- Béquer
- Bureta
- Papel tornassol
- Banho de gelo
- Funil de placa porosa
- Nitrato de alumínio nona-hidratado
- Acetilacetona
- Solução de amônia 2,0 mol L^{-1}
- Clorofórmio

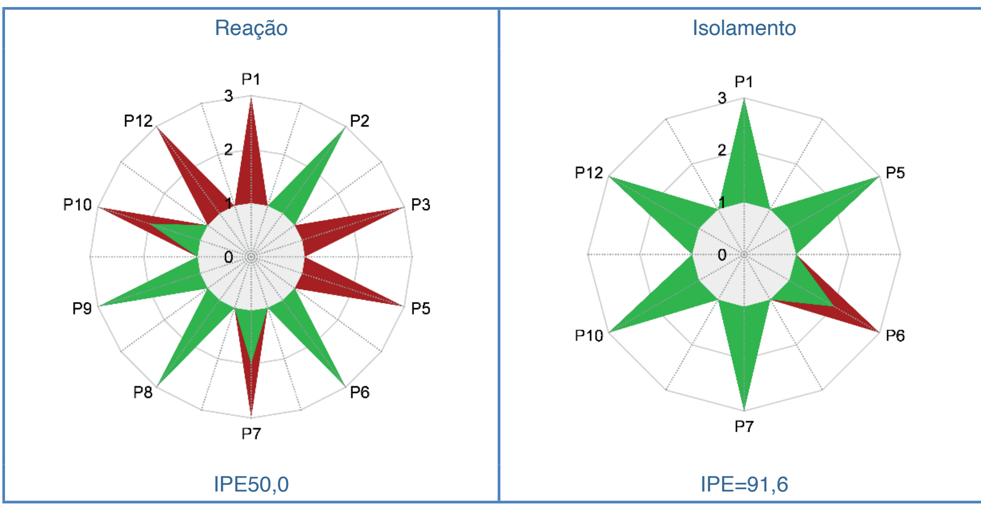
1. Autores responsáveis pela análise dos roteiros experimentais. Os experimentos foram concebidos por diversos professores do Departamento de Química / UFSC.

Procedimento experimental

Em um béquer de 100 mL, dissolva 3,0 g de nitrato de alumínio nona-hidratado em 30 mL de água destilada e adicione 2,5 mL de acetilacetona. Agite a solução enquanto adicione com o auxílio de uma bureta, gota a gota, solução aquosa de amônia 2,0 mol L^{-1} até o meio ficar levemente alcalino (pH entre 7-8, verificado com o auxílio de papel indicador tornassol).

Esfrie a solução em banho de gelo, filtre o precipitado por sucção em funil de placa porosa, lave uma vez com água gelada e seque em estufa a 70°C. Dissolva uma alíquota do material sintetizado em clorofórmio, a fim de verificar a pureza do composto obtido. Calcular o rendimento.

Estrela Verde do Experimento



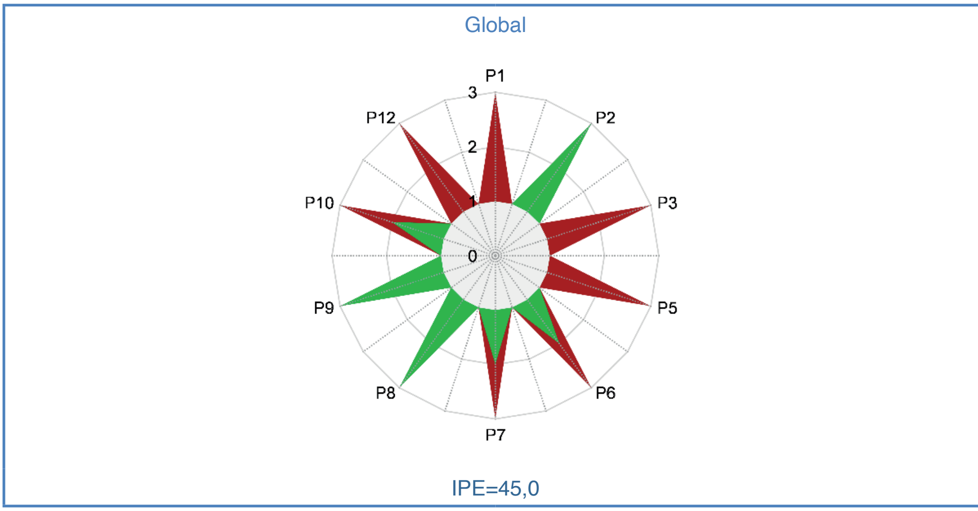


Figura 5.1 – Estrelas Verdes e IPE para etapas de reação, isolamento, purificação e global do Experimento 5.1 — Preparação do trisacetilacetonato de alumínio (III)

Fonte: dados da pesquisa.

Na EV referente à etapa da síntese da reação (Figura 5.1), os Princípios 2, 6, 8 e 9 apresentaram pontuação máxima. Os Princípios 7 e 10 tiveram sua pontuação reduzida para 2, devido ao uso de reagentes não renováveis (P7) e não degradáveis, mas que possam ser tratados (P10). Os Princípios 1, 3, 5 e 12 foram classificados com pontuação mínima, porque houve formação de amônia como resíduo, com risco elevado para a saúde o meio ambiente (P1), a acetilacetona foi um reagente, com risco elevado para a saúde e ao meio ambiente (P3), a amônia usada como solvente tem risco elevado para a saúde e o meio ambiente (P5) e várias substâncias usadas na síntese, como a amônia e a acetilacetona, apresentam perigo elevado de acidente químico (P12). Mesmo com substâncias com periculosidade alta, a verdura química da reação foi relativamente alta, com um IPE=65,0.

A etapa de isolamento do produto, por ser só uma filtração a vácuo e lavagem com água destilada, deu aos Princípios 1, 3, 7, 10 e 12 pontuação máxima. O Princípio 6 teve sua pontuação reduzida para 2 pelo fato de o produto ser seco em estufa a 70°C. Totalizou-se um IPE=91,6.

A atividade experimental não tem etapa de purificação, portanto o processo global mostra que a etapa da reação é determinante para a verdura química global experimento. Considerando a diminuição da verdura do Princípio 6 na etapa do isolamento, a EV do processo global tem IPE=45,0.

2 I SÍNTESE DO TRISOXALATOALUMINATO DE POTÁSSIO

Objetivos

Preparação do composto; cálculo de rendimento; determinação da fórmula do composto via análise permanganométrica; determinação da água de hidratação.

Materiais e reagentes

- Béquer
- Funil de Büchner
- Banho de gelo
- Erlenmeyer
- Raspas de alumínio
- Solução aquosa de hidróxido de potássio
- Ácido oxálico
- Etanol
- Solução de ácido sulfúrico 2 mol L^{-1}
- Solução de permanganato de potássio
- Carbonato de sódio
- Oxalato de sódio

Procedimento experimental

Síntese do trisoxalatoaluminato de potássio

Em um béquer de 150 mL, pese 0,5 g de alumínio em raspas e lentamente adicione 30 mL de solução aquosa contendo 3,0 g de KOH. Aqueça a solução resultante até a fervura por aproximadamente 30 minutos. Filtre a solução ainda quente, em funil de Büchner para remoção de eventuais resíduos.

Ao filtrado ainda quente, adicione lentamente e sob agitação 7,0 g de ácido oxálico. Caso haja formação de precipitado, aqueça a mistura até total dissolução. Filtre novamente, se necessário, e esfrie a solução a temperatura ambiente. Adicione 30 mL de etanol, resfrie a solução em banho de gelo (45 min.), filtre o sólido resultante, lavando-o com etanol gelado. Deixe o produto secar ao ar. A solução aquosa contendo o trisoxalatoaluminato deve ser estocada até a aula seguinte.

Padronização da solução de $KMNO_4 \approx 0,02$ mol L^{-1}

Pese cerca de 0,250 g de oxalato de sódio (padrão primário) e transfira a massa para um erlenmeyer de 250 mL.

Dissolva o sal em 60 mL de água destilada e adicione 15 mL de solução de H_2SO_4 2 mol L^{-1}. Aqueça a mistura até começar a condensar nas paredes do erlenmeyer (≈ 60°C) sob agitação constante. Mantendo-se o aquecimento, titule o padrão primário com a solução estoque de $KMnO_4$ até o aparecimento de uma coloração levemente rósea que persista por, pelo menos, 30 segundos.

Repita este procedimento pelo menos mais uma vez e rotule o frasco contendo a solução de $KMnO_4$ padronizada.

Determinação da fórmula do trisoxalatoaluminato(III) de potássio

Realize a titulação em duplicata seguindo-se o mesmo procedimento da padronização da solução de permanganato, porém utilizando-se o composto obtido anteriormente (trisoxalatoaluminato de potássio) em lugar do oxalato de sódio.

Para isso, pesam-se amostras de aproximadamente 0,200 g do composto hidratado.

Determinação de água de hidratação

Macere o trisoxalatoaluminato de potássio hidratado, pese aproximadamente 1,000 g em um béquer de 100 mL e coloque na estufa a temperatura entre 120-140°C até obter-se massa constante.

Tratamento dos Resíduos

Após realizar todas as titulações necessárias, neutralizar as soluções fortemente ácidas com carbonato de sódio, antes de descartá-las na pia.

À solução de $KMnO_4$ utilizada na lavagem e ajuste de buretas, adicione as soluções ácidas das titulações (ou H_2SO_4, 2 mol L^{-1}), solução aquosa contendo oxalato e se necessário $K_3[Al(C_2O_4)_3]$ até a solução tornar-se incolor, podendo em seguida ser descartada na pia.

Estrela Verde do Experimento

Na atividade experimental 5.2, realizou-se a avaliação em duas etapas globais, uma sem considerar a caracterização e outra levando em consideração a caracterização do produto final, a fim de analisar se haveria diferença na verdura global.

Experimento 5.2A — Síntese do trisoxalatoaluminato de potássio sem caracterização do produto

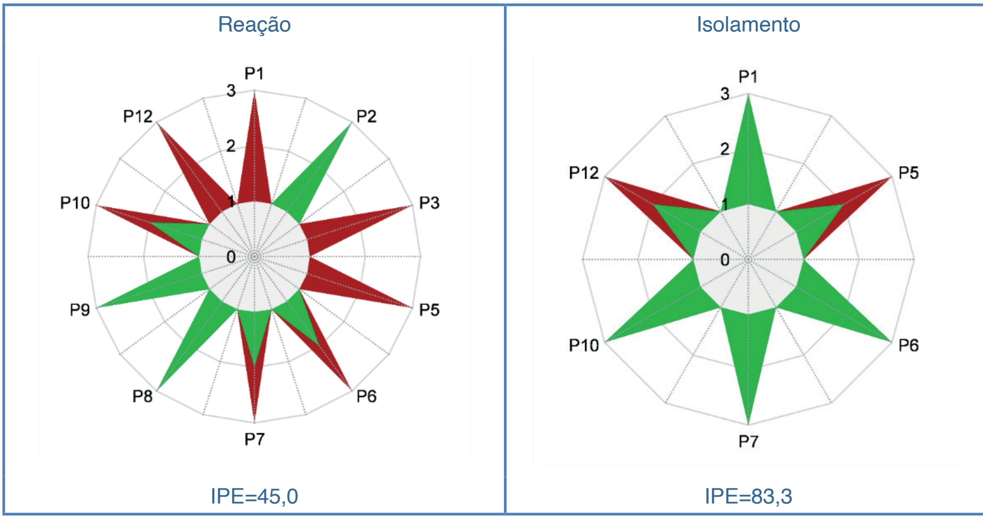


Figura 5.2 – Estrelas Verdes e IPE para etapas de reação, isolamento e global do Experimento 5.A - Síntese do trisoxalatoaluminato de potássio sem caracterização do produto

Fonte: dados da pesquisa.

Na atividade experimental 5.2A, sem caracterização do produto, obteve-se uma EV conforme a Figura 5.2, com os Princípios 2, 8 e 9 apresentando pontuação máxima. Os Princípios 6, 7 e 10 tiveram sua pontuação reduzida para 2, porque a reação foi aquecida por 30 minutos (P6), nem todos os reagentes utilizados são renováveis (P7) e nem todos são degradáveis, mas podem ser tratados para obter a sua degradação com produtos inofensivos (P10). A pontuação mínima foi atribuída aos Princípios 1, 3, 5 e 12, devido à geração do hidróxido de potássio como resíduo e substância auxiliar, com perigo elevado para a saúde o meio ambiente (P1 e P5), ao uso de ácido oxálico como reagente, apresentando perigo elevado para a saúde (P3) e de acidente químico (P12). O IPE na primeira etapa igual foi de 45,0.

No isolamento do produto, os Princípios 1, 6, 7 e 10 tiveram pontuação máxima atribuída. Os Princípios 5 e 12 foram reduzidos para 2, por usar como solvente etanol, com perigo moderado para a saúde (P5) e perigo elevado de acidente químico (P12). O IPE da etapa de isolamento foi igual a 83,3.

O experimento não tem etapa de purificação. Observe que a EV da etapa de reação foi determinante para a verdura química global, de forma que os IPE ficaram idênticos (IPE=45,0).

Experimento 5.2B — Síntese do trisoxalatoaluminato de potássiocom caracterização do produto

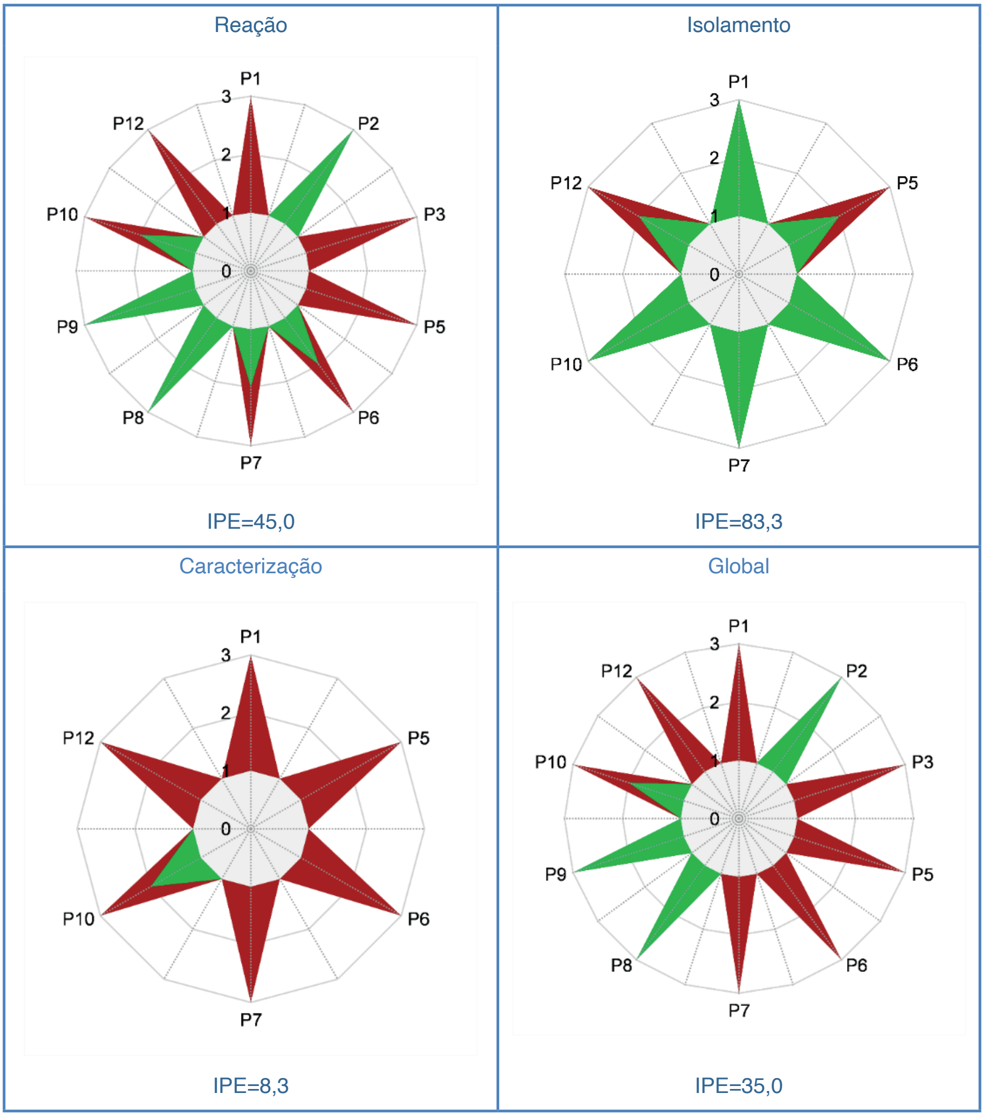


Figura 5.3 – Estrelas Verdes e IPE para etapas de reação, isolamento, purificação e global do Experimento 5.2B - Síntese do trisoxalatoaluminato de potássio com caracterização do produto

Fonte: dados da pesquisa.

Na atividade experimental 5.2B (Figura 5.3), com caracterização do produto, as etapas de reação de síntese e isolamento do produto são idênticas aos do experimento 5.2A, com adição da etapa de caracterização do produto obtido. A EV referente à caracterização não apresentou pontuação máxima para nenhum dos Princípios, sendo a

pontuação reduzida para 2 no Princípio 10, pois as substâncias envolvidas não são todas degradáveis, mas podem ser tratadas para obter produtos de degradação inofensivos. Os demais Princípios (1, 5, 7 e 12) foram classificados com pontuação mínima, pois, para determinar a fórmula do produto, foi realizada uma titulação de oxirredução usando permanganato de potássio e ácido sulfúrico concentrado, que são resíduos (P1) e substâncias auxiliares (P5) com perigo elevado para a saúde, ao meio ambiente e para gerar acidente químico. Para a determinação da água de hidratação, o composto foi colocado na estufa a 140°C, levando o P6 ao valor mínimo de verdura química. A EV da etapa de caracterização ficou com verdura química baixa, com IPE=8,3.

O processo global apresentou um IPE=35,00. A diferença de 10 unidades com o Experimento 5.2A decorre da diminuição da verdura química dos Princípios 6 e 7 a um, devido à etapa de caracterização.

3 I CRESCIMENTO DE CRISTAIS ALUMENS DE METAIS DE TRANSIÇÃO

Objetivos

- Síntese do alúmen de crômio e potássio; tratamento dos resíduos de cromo (VI).
- Utilização do pigmento óxido de cromo (III) na esmaltação de cerâmicas.

Materiais e reagentes

- Béquer
- Banho de gelo
- Vidro de relógio
- Funil de Büchner
- Sulfato de magnésio hepta-hidratado
- Sulfato de amônio
- Dicromato de potássio
- Ácido sulfúrico 2,0 mol L^{-1}
- Carbonato de sódio
- Álcool etílico

Procedimento experimental

Crescimento de cristais de um sal duplo

Em um béquer de 100 mL, dissolva 5,0 g de sulfato de magnésio hepta-hidratado ($MgSO_4.7H_2O$) na menor quantidade de água possível, a temperatura ambiente. Dissolva igualmente uma quantidade equimolar de sulfato de amônio. Misture as duas soluções, deixe-as em repouso por algumas horas até que cristais sejam formados. Qual a massa de sulfato de amônio que deve ser utilizada?

Obtenção do alúmen de crômio e potássio

Em um béquer de 150 mL dissolva 6,0 g de dicromato de potássio em 15 mL de água destilada e adicione 3,5 mL de álcool etílico. Resfrie e mantenha-se a suspensão em banho de gelo, enquanto, sob agitação, adicione lentamente 50 mL de ácido sulfúrico 2,0 mol

L^{-1}, não deixando que a temperatura ultrapasse 60°C. Terminada a adição, a temperatura ambiente, agite a mistura até a obtenção de uma solução homogênea, tampe a solução com um vidro de relógio e deixe em repouso absoluto por uma semana.

Tratamento dos Resíduos

O procedimento básico consiste em reduzir o Cr (VI) contido nos resíduos gerados nos experimentos a Cr (III) e precipitá-lo como seu hidróxido. Isto pode ser feito empregando-se o etanol como agente redutor de cromo. Essa redução deve ser feita em meio ácido (ácido sulfúrico) e é necessário neutralizar a solução contendo Cr (III) para a obtenção do precipitado ($Cr(OH)_3.3H_2O$). Portanto, para o tratamento de soluções aquosas de cromo (VI) adicione álcool etílico, mantenha a solução resfriada e sob agitação, enquanto adiciona lentamente ácido sulfúrico 2 mol L^{-1}. Coloque a solução em uma capela e deixe em repouso até que a reação esteja completa (obs: poderá ocorrer a formação de cristais escuros do respectivo alúmen de crômio).

A neutralização final das soluções aquosas ácidas, após a redução do cromo (VI), pode ser feita adicionando lentamente carbonato de sódio (dispensa o uso de pHmetro) até completa precipitação do hidróxido de cromo (III) trihidratado (pH aproximadamente 8). Deixe em repouso (digestão/decantação), elimine o sobrenadante, filtre a vácuo em funil de Büchner, lave com água e deixe secar a temperatura ambiente. O hidróxido de cromo (III), depois de seco, pode ser armazenado apropriadamente, como substância não oxidante. A solução restante, cujo pH está próximo de 8, pode ser descartada na pia, com grande quantidade de água.

O hidróxido de cromo (III) poderá ser desidratado a 110°C para formar hidróxido de cromo (III), ou a 600°C para obter o óxido de cromo (III), denominado "verde de cromo" (Cr_2O_3) que é um pigmento empregado em pinturas esmaltadas, esmaltação de cerâmicas e na coloração de vidros. O hidróxido de cromo (III), pó azul esverdeado é muito pouco solúvel em água. A constante de solubilidade Ks é de 6,3 x 10^{-31} para a dissociação: $Cr(OH)_{3(s)} \rightarrow Cr^{3+}_{(aq)} + 3\ OH^-_{(aq)}$.

Estrela Verde do Experimento

A atividade experimental 5.3 está dividida em duas partes, pois na primeira parte é realizada a formação de cristais de um sal duplo, e na segunda parte a obtenção do alúmen de crômio e potássio.

Experimento 5.3A — Crescimento de cristais alumens de metais de transição: cristais de um sal duplo

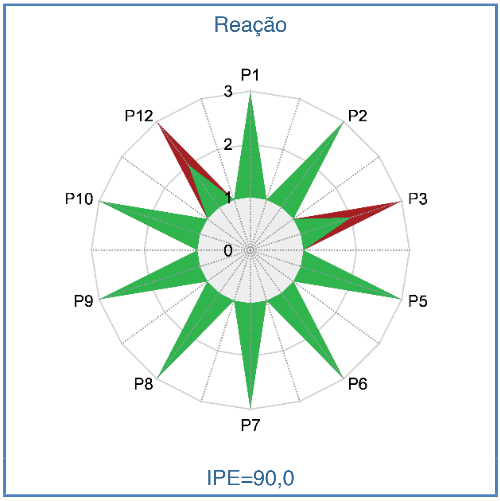


Figura 5.4 – Estrela Verde e IPE para a etapa de reação do Experimento 5.3A - Crescimento de cristais alumens de metais de transição: cristais de um sal duplo

Fonte: dados da pesquisa.

Na atividade experimental 5.3A (Figura 5.4), o sal duplo formado entre sulfato de magnésio e sulfato de amônio apresenta um IPE=90,0 pois os Princípios 1, 2, 5, 6, 8 e 9 obtiveram pontuação máxima para a verdura química e os Princípios 3 e 12 têm sua pontuação reduzida para 2, visto que o sulfato de amônio apresenta perigo moderado para a saúde e o meio ambiente (P3) e apresenta perigo moderado de acidente químico (P12), deixando a EV com um IPE=90,0. Como o experimento não tem isolamento e nem purificação, o processo global é apenas a primeira etapa, que pode ser considerada como uma atividade que incorpora Princípios verdes.

Experimento 5.3B — Crescimento de cristais alumens de metais de transição: obtenção do alúmen de crômio e potássio

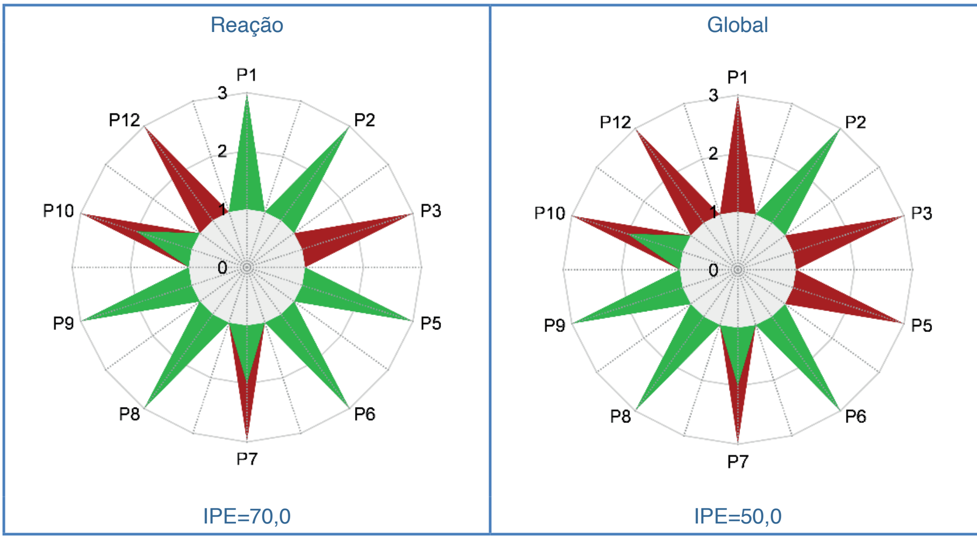


Figura 5.5 – Estrela Verde e IPE para a etapa de reação do Experimento 5.3B - Crescimento de cristais alumens de metais de transição: obtenção do alúmen de crômio e potássio

Fonte: dados da pesquisa.

Na primeira etapa da atividade experimental 5.3B (Figura 5.5), sobre obtenção do alúmen de crômio e potássio, os Princípios 1, 2, 5, 6, 8 e 9 apresentaram pontuação máxima, os Princípios 7 e 10 tiveram sua pontuação reduzida para dois por usar algumas substâncias na atividade que não são renováveis (P7) e não degradáveis (P10). Os Princípios 3 e 12 tiveram a pontuação mínima por ser usado dicromato de potássio na síntese, que envolve perigo elevado para a saúde (P3) e risco elevado de acidente químico (P12), apresentado uma EV com IPE=70,0.

A síntese não tem isolamento de produto e nem purificação. Contudo, no experimento é realizado o tratamento dos resíduos de cromo (VI), reduzindo-os a Cr (III). Essa etapa não foi incorporada na EV de reação, mas o tratamento dos resíduos foi considerado na EV global, cujo IPE ficou em 50. É importante esse tratamento dos resíduos, mas, por outro lado, foram usados mais reagentes para conseguir reduzir o cromo. Portanto, antes de gerar resíduos e posteriormente neutralizá-los, seria mais viável não os gerar.

4 I RESINAS DE TROCA IÔNICA

Objetivos

Conhecer resinas de troca iônica; métodos de separação de metais.

Materiais e reagentes

- Bureta
- Bastão de vidro
- Chumaço de algodão
- Béquer
- Proveta
- Tubo de ensaio
- Resina troca aniônica Amberlite IRA 410
- Solução de ácido clorídrico 6,0 mol L^{-1}
- Dimetilglioxima
- Tiocianato de amônio
- Carbonato de sódio
- Hidróxido de amônio concentrado
- Solução (com concentração 0,1 mol L^{-1}) dos íons Ni^{2+} e Co^{2+}

Procedimento experimental

Empacotamento da coluna

Em uma bureta de 50 mL introduz-se, com o auxílio de um bastão, um chumaço de algodão que deverá ficar junto à torneira.

Pese aproximadamente 15,0 g da resina de troca aniônica Amberlite IRA 410 e coloque em um béquer contendo 40 mL de água destilada. Transfira a resina para a bureta e deixe escorrer a água até quase o nível da resina (a resina deverá ficar sempre coberta com água).

Meça 20 mL de ácido clorídrico 6,0 mol L^{-1} com o auxílio de uma proveta e transfira para a bureta deixando-se gotejar lentamente (vazão de 20 gotas/minuto).

Separação de Ni^{2+}e Co^{2+}

Prepare uma mistura de íons Ni^{2+} e Co^{2+} pela adição de 1 mL de uma solução (com concentração 0,1 mol L^{-1}) de cada um dos íons juntamente com 6 mL da solução 6,0 mol L^{-1} de HCl. Pegue 4 mL da mistura resultante e transfira para a coluna de troca. Deixe gotejar lentamente, mantendo-se a resina sempre coberta pelo líquido eluente.

O primeiro líquido eluente será ácido clorídrico 6,0 mol L^{-1} (20 mL) e o segundo, água destilada. Em tubos de ensaio coletam-se alíquotas de 1 a 2 mL de cada líquido eluído da coluna.

Nas alíquotas do primeiro eluato (HCl 6,0 mol L^{-1}) adicione uma solução etanólica de dimetilglioxima 1% (4 a 6 gotas) e neutralize o meio com hidróxido de amônio concentrado (até formar um precipitado). Em seguida, pegue alíquotas do segundo eluato (água destilada) e teste a presença de Co^{2+} com tiocianato de amônio. Ao final, neutralize os eluatos (fortemente ácidos) com carbonato de sódio antes de descartá-los na pia.

Estrela Verde do Experimento

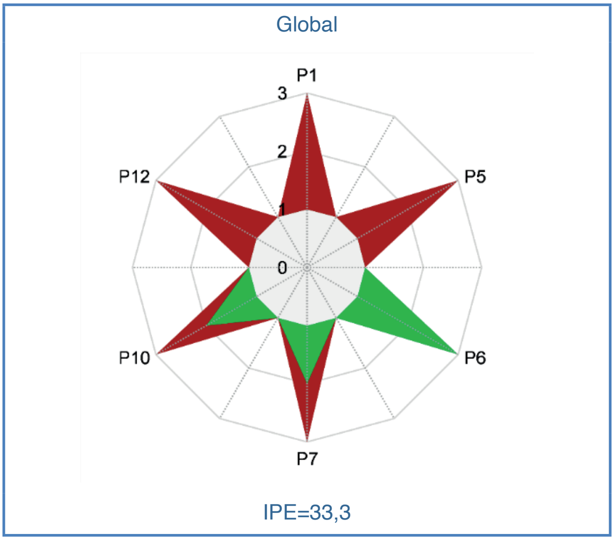


Figura 5.6 – Estrela Verde e IPE para a etapa de reação do Experimento 5.4 - Síntese e análise de carboxilatos de cobre (II)

Fonte: dados da pesquisa.

O experimento teve apenas uma única etapa (Figura 5.6), portanto só se teve uma EV, na qual o Princípio 6 obteve pontuação máxima por ser uma atividade realizada a pressão e temperatura ambiente (P6). Os Princípios 7 e 10 tiveram pontuação reduzida para 2, por usar algumas substâncias não renováveis (P7) e não degradáveis, mas que podem ser tratadas e transformadas em produtos de degradação inofensivos (P10). Os Princípios 1, 5, e 12 obtiveram pontuação mínima por gerar vários resíduos com perigo elevado para a saúde e o meio ambiente, por exemplo, o hidróxido de amônio e tiocianato de amônio (P1). Várias substâncias usadas como solventes ou substâncias auxiliares apresentaram perigo elevado para a saúde e o meio ambiente (P5), gerando perigo elevado de acidente químico (P12). O experimento teve IPE=33,3.

5 I PREPARAÇÃO DO PRECURSOR $NA_3[CO(CO_3)_3].3H_2O$ E PREPARAÇÃO DO TRISACETILACETONATO DE CO(III).

Objetivos

Preparação de composto de Co (III) com diferentes ligantes; cálculo de rendimento; estequiometria; conhecer espectro eletrônico do composto sintetizado.

Materiais e reagentes

- Béquer
- Banho de gelo
- Balão de fundo redondo
- Condensador de refluxo
- Suporte universal
- Bicarbonato de sódio
- Nitrato de cobalto hexa hidratado
- Peróxido de hidrogênio 30%
- Álcool absoluto
- Acetilacetona
- Acetona
- Ácido nítrico 65%
- Éter etílico

Procedimento experimental

Síntese do precursor: tris-carbonatocobaltato(III) de sódio tri-hidratado

Coloque em um béquer 4,2 g de bicarbonato de sódio em 5 mL de água. Haverá a formação de uma pasta branca, que deverá ser mantida em banho de gelo.

Em outro béquer, adicione 2,91 g de $Co(NO_3)_2.6H_20$ (0,01mol) em 1,0 mL solução de peróxido de Hidrogênio 30%. Essa mistura será adicionada, gota a gota sob agitação, à pasta fria do bicarbonato de sódio (mantida sob banho de gelo). Haverá a formação de um precipitado verde escuro. A mistura reacional deverá permanecer sob agitação (0°C) por 1 h. Após este tempo, filtre o sólido verde, lave-o com 3x10 mL de água gelada e, então, lave-o com álcool absoluto e éter etílico. O rendimento deve ser calculado.

Síntese do trisacetilacetonatocobalto(III)

Em um béquer de 50 mL coloque 1,8g do precursor tris-carbonatocobaltato (III) de sódio tri-hidratado e adicione 4 mL de água. Transfira a solução aquosa para um balão de fundo redondo e com junta esmerilhada, o qual já deve conter 1,5 mL de acetilacetona, 6 mL de acetona e 1,05 mL de ácido nítrico 65%. Acople o balão ao condensador de refluxo fixando o sistema em um suporte universal e conecte a circulação de água no condensador.

Mantenha a mistura reacional sob aquecimento (use um banho térmico com copo de béquer de 400 mL com água e chapa de aquecimento – aqueça lentamente até aproximadamente 60°C) e deixe o sistema reacional em refluxo por cerca de 30 minutos. Após este tempo, retire o condensador e deixe em aquecimento por mais 10-15 minutos. Filtre o precipitado em sistema de pressão reduzida e lave várias vezes o precipitado com água. No próprio filtro, coloque acetona para solubilizar o precipitado (3x10ml) recolhendo a solução em um copo de béquer de 100 mL. Adicione 20 mL de água sobre a solução em acetona e deixe recristalizando até a semana seguinte.

Espectroscopia eletrônica

Após recristalizado, filtre o produto e coloque-o na estufa a 115°C por 15-30 minutos. Em seguida, prepare 6 soluções nas seguintes concentrações: $1,00x10^{-3}$; $2,00x10^{-3}$; $3,00x10^{-}$

[3]; 4,00x10-3, 6,00x10-3; 7,50x10-3 e 9,00x10-3mol L-1 para o estudo espectroscópico e confecção da curva de calibração com base na Lei de Lambert-Beer.

6 I ESTRELA VERDE DO EXPERIMENTO

A atividade experimental 5.5 foi separada em duas partes: na primeira é sintetizado o precursor $Na_3[Co(CO_3)_3].3H_2O$, e na segunda é preparado o trisacetilacetonato de Co (III).

Experimento 5.5A — Preparação do precursor $Na_3[Co(CO_3)_3].3H_2O$

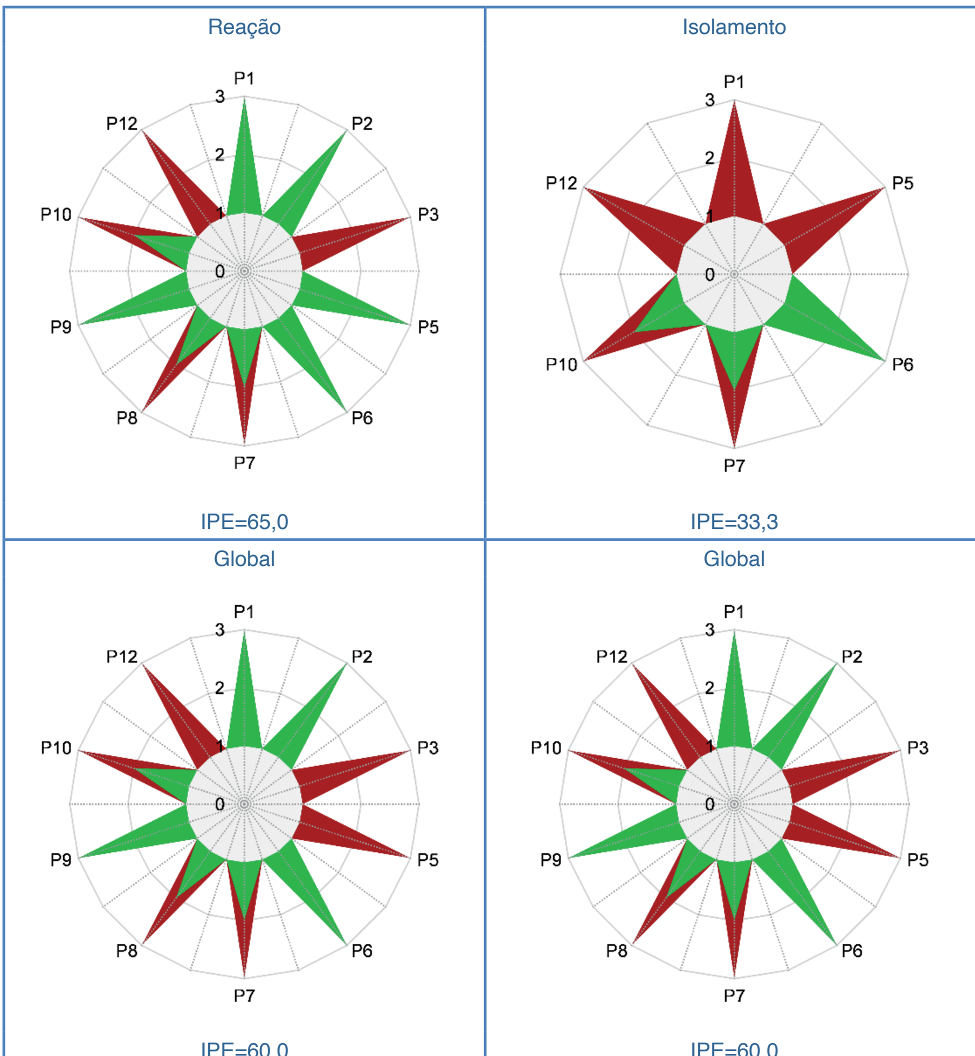


Figura 5.7 – Estrela Verde e IPE para a etapa de reação do Experimento 5.5A — Síntese do tris-carbonatocobaltato (III) de sódio tri-hidratado

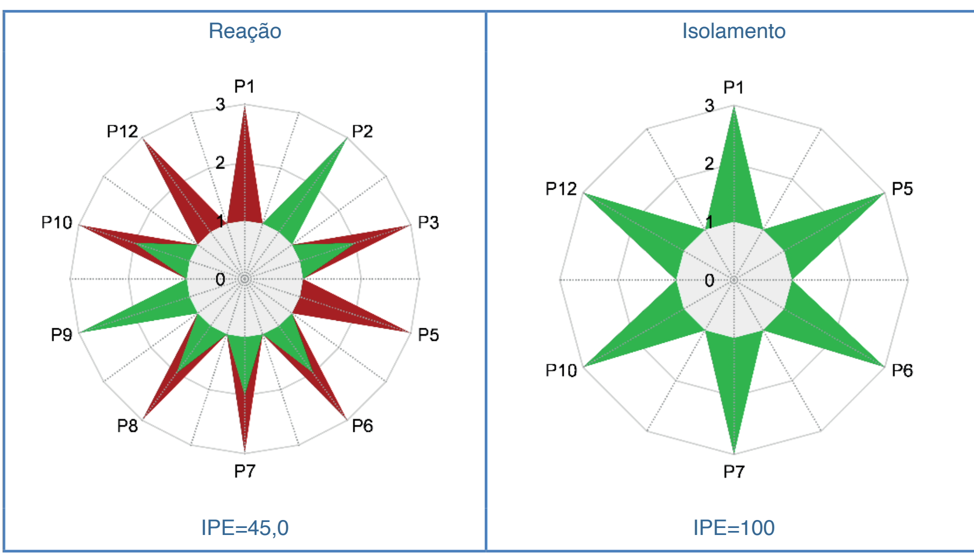
Fonte: dados da pesquisa.

A EV para a reação de síntese do precursor (Figura 5.7) teve pontuação máxima para os Princípios 1, 2, 5, 6 e 9. Para os Princípios 7, 8 e 10 a pontuação foi reduzida para 2, porque os reagentes não são renováveis (P7). Use mais de uma etapa no processo como um todo (P8). Nem todas as substâncias envolvidas são degradáveis, mas podem ser tratadas (P10). Os Princípios 3 e 12 obtiveram a pontuação mínima, por ser uma síntese que utiliza nitrato de cobalto com perigo elevado para a saúde e o meio ambiente (P3), bem como perigo elevado de acidente químico (P12). Portanto, na etapa de síntese, obteve-se um IPE=65,0.

A EV da etapa de isolamento obteve pontuação máxima apenas para o Princípio 6. Os Princípios 7 e 10 obtiveram uma pontuação reduzida para 2, porque nem todas as substâncias eram renováveis (P7) nem degradáveis (P10). Os Princípios 1, 5 e 12 obtiveram pontuação mínima, pois se teve como resíduo e solvente o éter etílico, com perigo elevado para a saúde (P1 e P5) e risco elevado de acidente químico (P12). O IPE da etapa de isolamento é igual a 33,3.

A formação do precursor não tem etapa de purificação. O processo global teve a pontuação diminuída pelo uso de solvente perigoso na etapa de isolamento, o que levou o IPE a 45,0, menor que o da etapa de reação.

Experimento 5.5B —Preparação do trisacetilacetonato de Co(III)



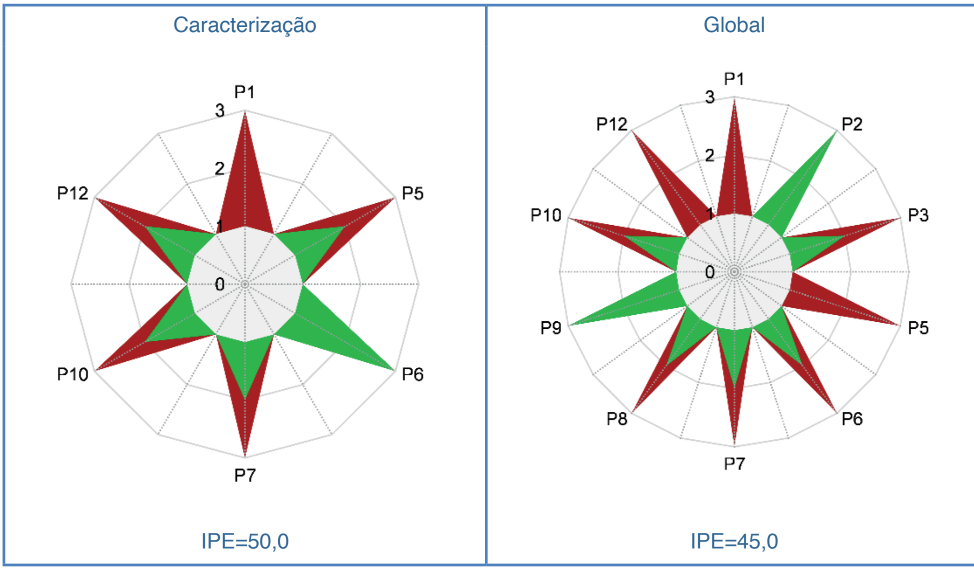


Figura 5.8 – Estrelas Verdes e IPE para etapas de reação, isolamento, purificação e global do Experimento 5.5B — Preparação do trisacetilacetonato de Co(III)

Fonte: dados da pesquisa.

A etapa de reação obteve pontuação máxima para os Princípios 2 e 9 (Figura 5.8). Os Princípios 3, 6, 7, 8 e 10 tiveram sua pontuação reduzida para 2, devido à geração de ácido nítrico como resíduo com perigo elevado para a saúde (P3). A reação acontece sob refluxo a 60°C (P6), usam-se reagentes que não são renováveis (P7) nem degradáveis (P10), mas que podem ser tratados para obter produtos inofensivos, além de a reação acontecer em mais de uma etapa (P8). Obteve-se IPE=45,0.

A etapa de isolamento, uma separação com funil e lavagem com água, teve a verdura química da EV máxima. Para a purificação o filtro com os cristais é lavado, solubilizando o produto em um béquer que pode ser deixado por uma semana para a recristalização. Esse procedimento faz com que o IPE dessa etapa seja igual a 50,0.

Para o processo global, considerando as três etapas, obtém-se um IPE=45, o que não difere a EV do processo global da EV da etapa onde acontece a síntese. Pode-se, assim, considerar que a etapa determinante para a EV global é a etapa da síntese.

7 I SÍNTESE E ANÁLISE DE CARBOXILATOS DE COBRE (II)

Objetivos

Alternativas de preparação de compostos de Cu (II) com diferentes ligantes (Acetato, citrato etc.); determinação de água de hidratação; determinação gravimétrica de cobre (CuO – calcinação).

Materiais e reagentes

- Erlenmeyer
- Banho de água gelada
- Dessecador
- Cadinho de porcelana
- Béquer
- Ácido cítrico
- Fenolftaleína
- Hidróxido de sódio 2 mol L^{-1}
- Álcool etílico
- Éter etílico
- Sulfato de cobre (II) penta-hidratado

Procedimento experimental

Síntese do citrato de cobre (II) - método do sulfato de cobre (II)

Dissolva 5,24 g (0,024 mol) do ácido cítrico (MM= 210,14 g mol^{-1}) em uma quantidade mínima de água em um Erlenmeyer de 250 mL. Misture 5 gotas de fenolftaleína à solução de ácido cítrico e titule com Hidróxido de sódio (2 mol L^{-1}). Em outro Erlenmeyer de 250 mL dissolva em uma quantidade mínima de água dois equivalentes de sulfato de cobre (II) penta-hidratado (0,048 mol). A mistura reacional deve ser mantida por 10 minutos, sob agitação e aquecimento. Após este tempo a mistura deverá ser resfriada em banho de água gelada, onde há a formação de um precipitado (se o precipitado não for produzido neste período, cubra o Erlenmeyer e aguarde 24 h para a precipitação do produto). O precipitado é isolado por filtração a vácuo e lavado com álcool e éter etílico. Mantenha-o em dessecador.

Determinação de água de hidratação

Após uma semana no dessecador, pulverize a amostra para se obter um pó fino. A seguir, em um béquer de 50ml, pese 0,50g do composto obtido na síntese da semana anterior. Coloque na estufa a aproximadamente 250°C por cerca de 2 horas. Após este tempo, coloque a massa em um cadinho e meça novamente a massa do composto.

Determinação do percentual de cobre (por calcinação)

Em um cadinho de porcelana pese 0,50 g do composto. Leve à mufla pré-aquecida a 700°C e deixe o composto nesta temperatura por cerca de 2 horas. Espere esfriar e meça novamente a massa no cadinho.

Estrela Verde do Experimento

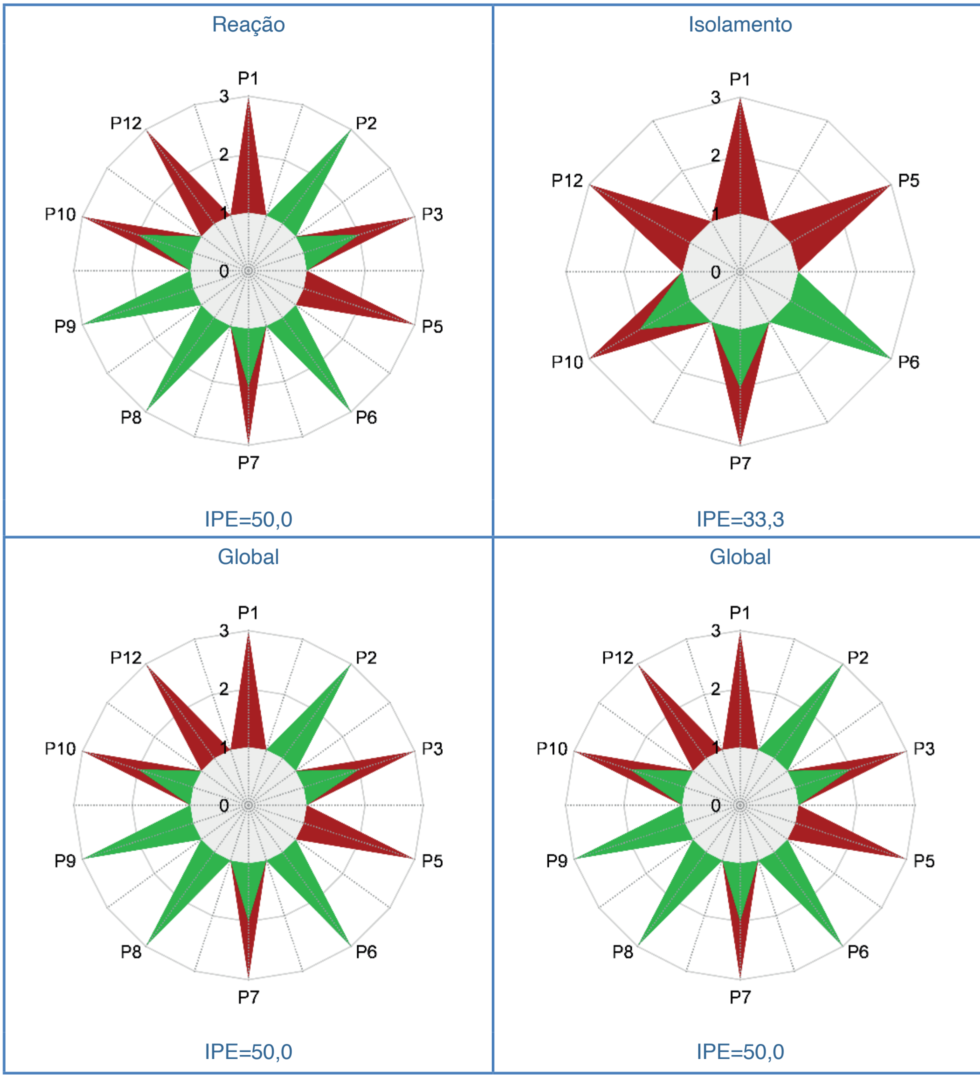


Figura 5.9 – Estrela Verde e IPE para a etapa de reação do Experimento 5.6 — Síntese e análise de carboxilatos de cobre (II)

Fonte: dados da pesquisa.

A EV obtida na síntese do citrato de cobre (Figura 5.9) apresenta pontuação máxima para os Princípios 2, 6, 8 e 9. A pontuação é reduzida para 2 nos Princípios 7 e 10, porque usam-se alguns reagentes não renováveis (P7) e não degradáveis, mas que podem ser tratados (P10). A verdura química tem valor mínimo para os Princípios 1, 3, 5 e 12, pois os resíduos formados têm um perigo elevado para a saúde e o meio ambiente (P1), as substâncias reagentes e auxiliares apresentam perigo elevado para a saúde e o meio

ambiente (P3 e P5) e risco elevado de acidente químico (P12). Tem-se no final da primeira etapa um IPE=50,0.

A etapa de isolamento é realizada a temperatura e pressão ambientes, atribuindo verdura química máxima ao P6. O uso de etanol e éter etílico acaba diminuído a verdura química, por serem resíduos ou auxiliares com perigo elevado para a saúde e o meio ambiente (P1, P5 e P12), com risco elevado de acidente químico (P12). São usadas substâncias que não são renováveis (P7) nem degradáveis, mas que podem ser tratadas e degradadas em substâncias inofensivas (P10). Obtém-se, desta forma, uma EV com IPE=33,3.

Como o experimento não tem etapa de purificação, o processo global considera as duas primeiras etapas totalizando um IPE=50,0. O IPE global não difere do IPE da primeira etapa, que é a etapa determinante para a verdura.

8 I CONSIDERAÇÕES FINAIS

8.1 Atividades experimentais com sínteses

Entre as atividades experimentais da disciplina Química Inorgânica Experimental I com o uso de sínteses, três experimentos obtiveram verdura química significativa. São elas: crescimento de cristais alumens de metais de transição – cristais de um sal duplo, crescimento de cristais alumens de metais de transição – obtenção do alúmen de crômio e potássio (5.3A e 5.3B) e síntese e análise de carboxilatos de Cobre (II) – síntese do citrato de cobre (II) (5.6).

O restante das atividades experimentais está com IPE abaixo dos 50, mas nenhuma abaixo dos 35. Portanto, também se pode repensar alguns procedimentos, estudar algumas mudanças de reagentes e solventes sem afetar o resultado final da síntese, mas que possa trazer benefícios para a verdura química do processo como um todo. A média aritmética dos IPE ficou acima do 50 (Figura 5.10), o que pode ser considerado positivo, mas não elimina a necessidade de melhorar individualmente cada atividade experimental. Observa-se também que a média de IPE dos experimentos de inorgânica ficou acima da média de IPE das atividades experimentais de orgânica (conferir Capítulo 4). Esse resultado já era esperado, mostrando a importância da métrica, pois a disciplina de orgânica manipula com um maior número de reagentes perigosos e em geral os experimentos têm mais etapas e quase sempre envolvem aquecimento, diminuindo a verdura.

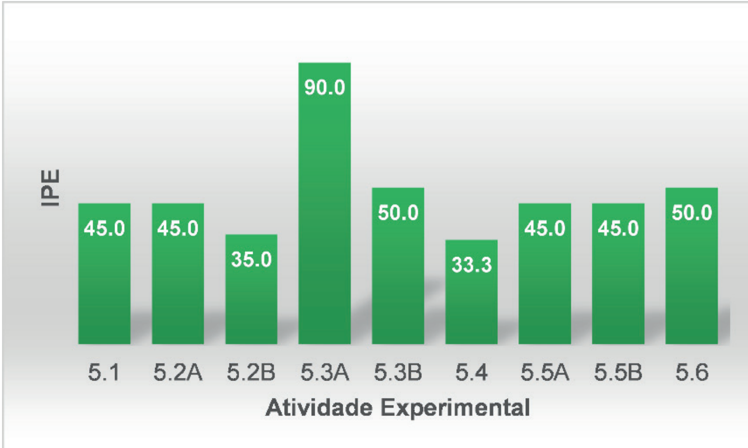


Figura 5.10 – Avaliação da verdura química de atividades experimentais da disciplina de Química Inorgânica Experimental I

Fonte: dados da pesquisa.

8.2 Atividades experimentais sem sínteses

Apenas uma atividade experimental da disciplina Química Inorgânica Experimental I não é realizada com síntese, o 5.4 Resinas de troca iônica. A EV mostra necessidade de se buscar alternativas de melhoria de sua verdura química, apontando quais Princípios podem ser alterados, alcançando o IPE mínimo de 50.

ATIVIDADES EXPERIMENTAIS DA DISCIPLINA DE FÍSICO-QUÍMICA EXPERIMENTAL I[1]

Fabiana Luvizon

Santiago Francisco Yunes

Patricia Link Rüntzel

Assim como no capítulo anterior, a apresentação dos experimentos, suas análises e metrificações foram desenvolvidas a partir das apostilas disponibilizadas na disciplina de Físico-Química Experimental I no ano de 2021 (FÍSICO-QUÍMICA..., 2021), sendo que o texto e as informações das apostilas foram simplificados.

Para todas as atividades experimentais aqui analisadas, os reagentes, solventes, produtos e resíduos foram inventariados e os perigos dessas substâncias foram pesquisados por meio das FISPQ disponíveis online, registrando essas informações conforme o modelo na Tabela 3.4. Em seguida, foram utilizadas planilhas do programa Microsoft Excel (disponível no Ambiente Temático Virtual - Química Verde) para a construção de um gráfico radial, a EV, conforme explicado na seção 3.2 Construção da Estrela Verde. Com base nesta metodologia, foi construída uma EV para cada experimento analisado e, junto com elas, o seu valor de IPE.

Os materiais para gerar a EV em salas de aula ou laboratórios podem ser consultados em Apêndice A. Alternativamente, a EV pode ser gerada por meio de uma calculadora virtual, disponível na página do Quimidex.

1 I DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE DE DISSOCIAÇÃO DE INDICADORES POR ESPECTROFOTOMETRIA

Objetivos

Determinar, empregando a espectrofotometria, a constante de dissociação do indicador vermelho de metila. Examinar, por meio de observação visual, o efeito do pH na mudança de coloração de diferentes indicadores.

1. Autores responsáveis pela análise dos roteiros experimentais. Os experimentos foram concebidos por diversos professores do Departamento de Química / UFSC.

Materiais e reagentes

- Bureta
- Pipeta volumétrica
- Béquer
- Tubo de ensaio
- pHmetro
- Hidrogeno fosfato de sódio 0,2 mol L^{-1}
- Ácido cítrico 0,1 mol L^{-1}
- Vermelho de metila
- Soluções dos indicadores conforme **Tabela 6.2**

Procedimento experimental

Prepare 10 mL de várias soluções tampão (série McIlvaine, conforme Tabela 6.1) em 6 tubos de ensaio numerados de 1 a 6. Use duas buretas, uma para cada solução, para medir os volumes.

Sol.	pH teórico	Na_2HPO_4; 0,2 mol L^{-1}	Ácido Cítrico; 0,1 mol L^{-1}	Volume final
01	3,0	2,0 mL	8,0 mL	10 mL
02	4,0	4,0 mL	6,0 mL	10 mL
03	5,0	5,2 mL	4,8 mL	10 mL
04	6,0	6,3 mL	3,7 mL	10 mL
05	7,0	8,2 mL	1,8 mL	10 mL
06	8,0	9,7 mL	0,3 mL	10 mL

OBS: Os volumes devem ser medidos com precisão, use buretas.

Tabela 6.1 – Volumes utilizados no preparo de soluções tampão de pH 3 a 8

Fonte: adaptado da apostila de Físico-Química (FÍSICO-QUÍMICA..., 2021).

Agite os 6 tubos e meça o pH das 6 soluções (complete a Tabela 6.2, abaixo). Verifique se o pH-metro está calibrado ou calibre-o com padrões de pH 7,0 e 4,0.

Transfira 1 mL das soluções de cada tubo para uma nova série de 6 tubos numerados, reserve-os para executar a parte 2. Use pipetas volumétricas de 1 mL e lave-as entre as medidas para não contaminar as soluções.

Aos 6 tubos com 9 mL adicione uma gota do indicador conforme indicado na Tabela 6.1. Escreva as observações sobre a cor obtida na Tabela 6.2. Note que a solução do tubo 6 deve ser dividida em dois tubos 6a e 6b, com 4,5 mL cada.

Separe seis tubos contendo 1,0 mL de solução. Adicione 1,0 mL de vermelho de metila diluído a cada tubo contendo 1,0 mL das soluções. Obs.: Confira com o professor ou monitor este item.

Meça as absorbâncias (A) de cada solução contendo os 1,0 mL de vermelho de metila diluído variando o comprimento de onda de 400 nm a 600 nm. Para usar o espectrofotômetro peça ajuda ao monitor.

Sol.	pH Teórico	pH Exper.	Indicador	Cor Exper.	pH mudança	Cor A (transição de cor teórico)	Cor B
01	3,0		Alaranjado de metila		2,9→ 4,6	Vermelho	Alaranjado
02	4,0		Azul de bromofenol		2,8→4,6	Amarelo	Azul
03	5,0		Vermelho de metila		4,2→6,3	Vermelho	Amarelo
04	6,0		Bromocresol púrpura		5,2→6,8	Amarelo	Púrpura
05	7,0		Azul de bromotimol		6,0→7,6	Amarelo	Azul
06a	8,0		Vermelho de cresol		7,2→8,8	Amarelo	Vermelho
06b	8,0		Fenolftaleina		8,3 →10,0	Incolor	Rosa

Tabela 6.2 – Determinação do pH experimental e da cor aparente

Fonte: adaptado da apostila de Físico-Química (FÍSICO-QUÍMICA..., 2021).

Tratamento dos resíduos

As soluções que você preparou são diluídas, de material não tóxico e biodegradável. O pH de efluentes para descarte deve ser entre 5 e 9. Use um pH-metro e ajuste o pH dos resíduos adicionando gotas de base ou ácido, diluídos. A cor dos resíduos líquidos pode ser removida por adsorção com carvão ativado. Adicione à solução uma pitada de carvão ativado (uma ponta de espátula ± 0,1 g), agite e deixe decantar até a solução ficar incolor. O líquido sobrenadante pode ser descartado e o sólido (carvão mais corante) pode ser descartado como resíduo sólido inerte ou reutilizado pela próxima equipe.

Estrela Verde do experimento

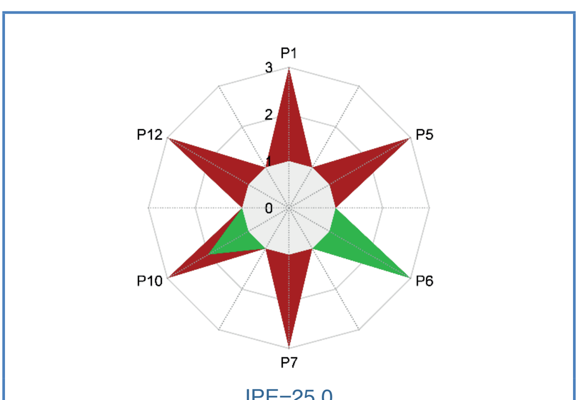


Figura 6.1 – Estrela Verde e IPE para o Experimento 6.1 - Determinação da constante de dissociação de indicadores por espectrofotometria

Fonte: dados da pesquisa.

A pontuação máxima foi obtida somente para o Princípio 6, pois a prática não exige mudanças de temperaturas e pressão para ser desenvolvida (Figura 6.1). Ao Princípio 10 foi atribuída pontuação moderada, por apresentar resíduos que podem ser tratados para obter sua degradação em produtos inócuos. A todos os demais Princípios foi atribuída pontuação mínima de verdura, pois as substâncias envolvidas, como os indicadores utilizados (fenolftaleína e alaranjado de metila), apresentam riscos máximos à saúde (P1, P5 e P12) e são usadas substâncias não renováveis (P7). Obteve-se, então, uma EV com IPE igual a 25.

2 I DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DE REAÇÃO DE HIDRÓLISE BÁSICA DO ACETATO DE ETILA SEGUIDA POR CONDUTÂNCIA

Objetivo

- Acompanhar reações químicas em solução;
- determinar a constante de velocidade (k);
- determinar a energia de ativação para o processo.

Materiais e Reagentes

- Condutivímetro
- Termostato
- Banho-maria
- Pipeta ou bureta volumétrica
- Erlenmeyer
- Tubo de fundo chato para medidas da condutividade
- Solução de acetato de etila 0,20mol L^{-1}
- Solução de hidróxido de sódio 0,20 mol L^{-1}

Procedimento experimental

Separe dois erlenmeyers com tampa. Em um deles coloque 10 mL de Acetato de Etila 0,20 mol L^{-1}e 40 mL de água. Esta será a solução A. Agite. Em um segundo erlenmeyer adicione 10 mL de NaOH 0,20 mol L^{-1} e 40 mL de água. Esta será a solução B. Agite. Leve os erlenmeyers para o banho termostatizado, a 25°C, durante 5 minutos.

Retire do banho e misture a solução A com a solução B, imediatamente agite e acione o cronômetro. Coloque a mistura no banho termostatizado novamente e faça a leitura da condutividade inicial (L_0). Acompanhe a reação medindo a condutividade a cada 3 minutos, por 30 minutos.

Repita o procedimento acima para temperaturas de 35°C e 45°C, usando intervalos de 2 minutos a cada medida.

Prepare a mesma mistura reacional da parte 1 (solução A + solução B) e leve-a a um banho-maria de 60°C por 1 hora e 30 minutos. Retire o erlenmeyer do banho e deixe a mistura reacional resfriar. Ao atingir as temperaturas utilizadas na parte 1, meça as condutividades. Esta será a condutividade no tempo infinito.

Estrela Verde do experimento

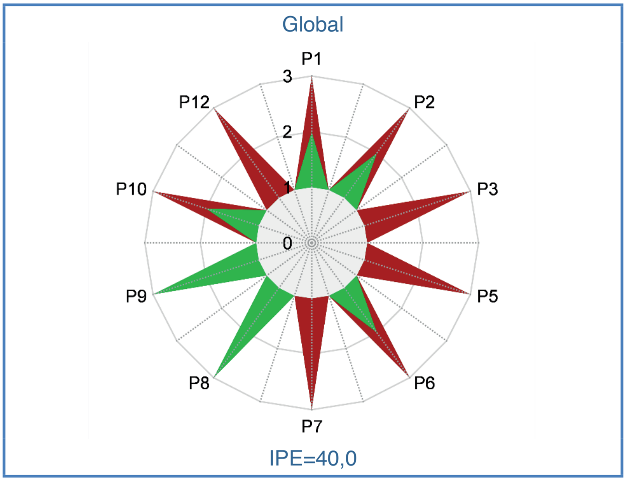


Figura 6.2 – Estrela Verde e IPE para o Experimento 6.2 — Determinação da velocidade de reação de hidrólise básica do acetato de etila seguida por condutância

Fonte: dados da pesquisa.

A EV global é apresentada em Figura 6.2. Embora a prática utilize hidróxido de sódio, que apresenta risco máximo à saúde, foi atribuída a pontuação 2 ao Princípio que se refere aos resíduos (P1), pois esta substância é totalmente convertida em etanol e acetato de sódio, quando misturada com a solução de acetato de etila. Sendo assim, os resíduos gerados apresentam risco moderado à saúde e moderados perigos físicos. Não há excesso de reagente, mas há formação de subproduto, o que leva o P2 ao valor dois. O hidróxido de sódio possui perigo máximo à saúde, reduzindo a verdura química do P3 ao valor mínimo. Por se fazer necessário o aquecimento das soluções, ao Princípio 6 (P6) atribuiu-se pontuação 2, a mesma atribuída ao P10, pois as substâncias podem ser tratadas para obter sua degradação com produtos inócuos. Não há derivatizações nem uso de catalisadores, atribuindo-se a verdura química máxima aos P8 e P9. A pontuação atribuída aos demais Princípios foi mínima, por envolver substâncias de risco máximo à saúde e perigos físicos (P5 e P12). A prática não envolve substâncias renováveis, o que levou à atribuição da pontuação mínima do P7. Obteve-se uma EV com IPE igual a 40.

3 | DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS CINÉTICOS DE REAÇÕES CATALISADAS POR ENZIMAS

Objetivo

Acompanhar um processo reacional por espectrofotometria. Determinar os parâmetros cinéticos de reações catalisadas por enzima e a ordem da reação.

Materiais e Reagentes

- Cubeta para espectrofotômetro
- Porta-cubetas
- Pipeta graduada
- Pipeta de Pasteur
- Béquer para guardar o extrato da batata
- Termostato
- Espectrofotômetro
- Papel de filtro
- Funil de vidro
- Proveta
- Espremedor de batatas
- Gral de porcelana para o banho de gelo
- Solução de catecol 0,05 mol L^{-1}
- Batata descascada
- Água oxigenada comercial

Procedimento experimental

Preparação dos materiais e reagentes

Ajuste o espectrofotômetro em 458 nm (λmax) e acerte o zero da absorbância utilizando uma cubeta com água.

Prepare 100 mL de catecol 0,05 mol L^{-1}.

Descasque meia batata e, amassando-a, prepare um extrato de batata.

Filtre por precipitação o amassado até atingir um volume de ± 1,5 mL de extrato. Mantenha o filtrado em banho de gelo.

Medição de absorbância

Coloque 0,5 mL de catecol 0,05 mol L^{-1} e 2,5 mL de água numa cubeta.

Coloque a cubeta no suporte de amostra do espectrofotômetro e faça a leitura da absorbância, este será o branco.

Retire a cubeta do espectrofotômetro, adicione 1 gota de H_2O_2 comercial e adicione 0,1 mL de extrato de batata. Agindo com rapidez, agite suavemente a solução na cubeta e coloque imediatamente a cubeta no aparelho, feche-o e faça a primeira leitura de absorbância (A_0). Dispare imediatamente o cronômetro.

Faça leituras de 20 em 20 segundos durante cerca de 3 a 4 minutos. Retire a cubeta e a reserve para fazer a leitura da absorbância no tempo infinito (A_∞) no fim de todas as corridas.

Variação de concentração

Repita a parte 2 variando as quantidades de catecol (0,05 mol L^{-1}) para 0,75; 1,0; 1,25; 1,5 mL, sempre completando o volume final na cubeta com água até 3,0 mL.

Repita o experimento na temperatura de 35°C, para tanto ajuste e utilize o termostato.

Faça a leitura da absorbância no tempo infinito (A_∞) de todas as corridas.

Deixe a solução da última leitura de (A_∞) no espectrofotômetro e faça um espectro do produto final da reação de 400 a 530 nm anotando o valor da absorbância a cada 10 nm.

Estrela Verde do experimento

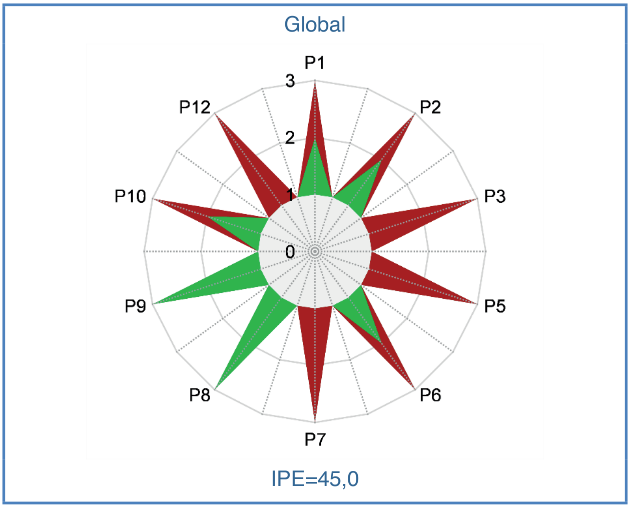


Figura 6.3 – Estrela Verde e IPE para o Experimento 6.3 - Determinação de parâmetros cinéticos de reações catalisadas por enzimas

Fonte: dados da pesquisa.

A pontuação máxima foi atribuída ao Princípio 6 (Figura 6.3), pois a síntese pode ser realizada a pressão e temperatura ambiente (P6), embora no roteiro experimental seja proposto termostatizar a 25°C. A verdura química máxima foi alcançada nos Princípios 8, 9 e 10, pois a síntese é realizada em uma única etapa (P8), o catalisador utilizado (enzima retirada da batata) é inócuo (P9) e todas as substâncias envolvidas são facilmente degradáveis a produtos inócuos (P10). A pontuação moderada foi atribuída somente ao Princípio referente à economia atômica (P2), porque o peróxido de hidrogênio é utilizado em excesso e não há formação de coprodutos. Aos demais Princípios, 1, 3, 5, 7 e 12, a pontuação mínima foi utilizada, pois as substâncias envolvidas não são renováveis (P7) e apresentam altos riscos à saúde (P1, P3, P5 e P12). Obteve-se um IPE igual a 45.

4 I EFEITO DA COMPOSIÇÃO SOBRE O VOLUME MOLAR E A VISCOSIDADE DOS COMPONENTES DE MISTURAS BINÁRIAS

Objetivo

Medir e discutir as razões de eventuais variações nos volumes molares e nas viscosidades da acetona e do etanol ao serem misturados em diferentes proporções.

Materiais e Reagentes

- Balão volumétrico
- Balança
- Viscosímetro de Ostwald
- Viscosímetro de Höppler
- Cronômetro
- Acetona
- Etanol

Procedimento experimental

Medidas do volume molar

Pese os 8 balões, anotando sua massa na Tabela 6.3.

Adicione volumes de acetona, conforme especificado na Tabela 6.3. (ATENÇÃO: observe se os balões que você está utilizando são de 50 ou 25 mL).

Pese novamente os balões.

Adicione etanol aos balões e antes de chegar até ao menisco, feche-os e agite-os vigorosamente. Deixe-os repousando durante 10 minutos.

Complete os balões com etanol até o menisco. Agite-os novamente.

Pese os balões.

Balão	Massa do balão (m_b)	Volume de acetona (mL)*	m_b + massa de acetona (m_a)	m_b+m_a+massa etanol	Tempo de escoamento (s)
1		0			
2		2,5			
3		5			
4		10			
5		12,5			
6		15			
7		20			
8		25			

*Este volume depende do volume total do balão.

Tabela 6.3 – Dados obtidos nas medidas de volume e de viscosidade

Fonte: adaptado da apostila de Físico-Química (FÍSICO-QUÍMICA..., 2021).

Medidas da viscosidade relativa com o viscosímetro de Ostwald

Coloque aproximadamente 10 mL da solução binária no viscosímetro de Ostwald.

Com auxílio de uma “pera”, puxe o líquido até o menisco do viscosímetro.

Meça o tempo necessário para que o líquido escorra entre as marcas do viscosímetro e anote na Tabela 6.3.

Faça o mesmo para todas as soluções e para água destilada, três vezes. Lembre-se de enxaguar o viscosímetro com a solução seguinte antes de fazer a medida.

Meça a temperatura das soluções. Esta será a temperatura em que a experiência foi realizada.

Medidas da viscosidade com o viscosímetro de Höppler

O viscosímetro deve estar limpo e enxaguado com o líquido que for usado para determinar a viscosidade. Ajustar o prumo do aparelho.

Escolher a esfera adequada de vidro ou de aço para as medidas (usar a de vidro para a água).

Encha completamente o tubo interno do viscosímetro com água.

Anote o tempo de queda da esfera entre as marcas A e B no viscosímetro de Höppler.

Faça mais duas determinações para obter um valor médio.

OBS.: Obter do professor os valores de densidade (ds) e constante específica das esferas (K).

Estrela Verde do experimento

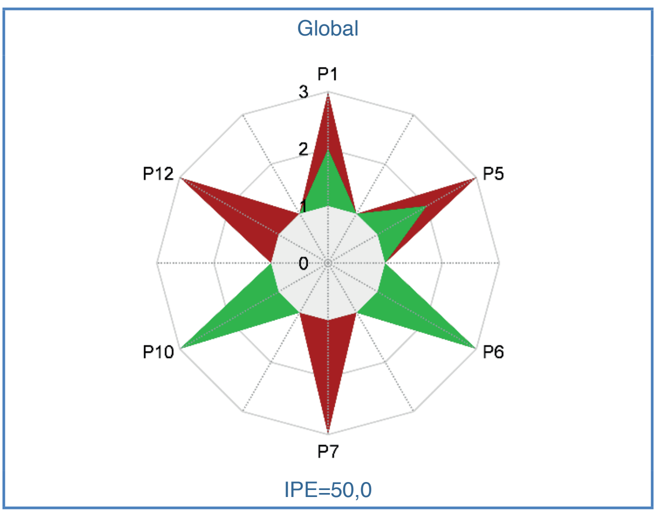


Figura 6.4 – Estrela Verde e IPE para o Experimento 6.4 - Efeito da composição sobre o volume molar e a viscosidade dos componentes de misturas binárias

Fonte: dados da pesquisa.

Aos dois primeiros Princípios analisados (P1 e P5), referente aos resíduos e substâncias auxiliares, respectivamente, a pontuação moderada foi atribuída, pois embora as substâncias envolvidas apresentem risco máximo a perigos físicos, à saúde e ao ambiente, o risco é moderado e somente estes são levados em consideração nestes Princípios (Figura 6.4). Nenhuma das substâncias envolvidas é renovável, o que explica a pontuação mínima atribuída ao P7. A ponta da EV referente à eficiência energética (P6)

recebeu pontuação máxima, pois não se faz necessária mudança de temperatura e de pressão para o desenvolvimento da prática. Em relação à degradabilidade (P10), segundo as informações contidas nas fichas de segurança, ambas as substâncias envolvidas (álcool etílico e acetona) são degradáveis com produtos de degradação inócuos, sendo assim, tal Princípio recebeu pontuação máxima. Ao Princípio 12, pontuação mínima foi atribuída por apresentar riscos máximos a perigos físicos. Obteve-se um IPE igual a 50 para a EV desta prática.

5 I CALORIMETRIA: DETERMINAÇÃO DA VARIAÇÃO DE ENTALPIA DE COMBUSTÃO DE SÓLIDOS

Objetivo

Determinar a variação de energia interna (ΔU) e a variação de entalpia (ΔH) na combustão de uma substância, usando um calorímetro. Aplicar conceitos de termoquímica.

Materiais e Reagentes

- Calorímetro
- Fio de ferro
- Termômetro diferencial de Beckmann
- Balão volumétrico
- Ácido benzóico

Procedimento experimental

Preparando as pastilhas

Corte 10 cm de fio de ferro e pese-o cuidadosamente. Curve-o ao redor do botão da prensa, introduzindo o fio dentro das ranhuras laterais.

Após a instalação do botão e fio na prensa, coloque aproximadamente 1g de substância dentro da forma da prensa. Prense a pastilha e pese-a com exatidão.

Instalando a pastilha na bomba

Pese a pastilha.

Instale a pastilha na bomba ligando o fio de ferro nos terminais elétricos. A pastilha deve ficar sobre o cadinho de quartzo ou platina.

Coloque a tampa na bomba cuidadosamente, parafusando-a.

Enchendo a bomba com oxigênio

Conecte a bomba ao cilindro de oxigênio, abra as válvulas de saída e entrada da bomba e deixe circular oxigênio para retirar o ar atmosférico. Feche a válvula de saída. Admita O_2 vagarosamente até que a pressão interna alcance 20 a 25 kgf/cm2.

Colocando água no calorímetro

Com um balão volumétrico, meça um volume de 2,0 L de água e a coloque no recipiente. Coloque a bomba na água e faça a conexão dos cabos elétricos. A água deve cobrir a bomba. Se bolhas de gás estiverem escapando, recomece tudo e verifique qual o problema.

Operando o calorímetro

A tampa da camisa adiabática deve ser colocada no lugar e o termômetro de Beckmann dever posicionado para a posição de leitura.

Coloque o agitador em movimento.

Aguarde 3 minutos antes de anotar qualquer temperatura. Após esse período preliminar, a temperatura da água no vaso calorimétrico deve ser lida em intervalos de 30 segundos durante o resto da experiência.

Acionando a chave de ignição

Após 3 minutos de leitura da temperatura, a chave de ignição é acionada. O botão vermelho de ignição deve ser apertado apenas por alguns segundos. A temperatura deverá aumentar rapidamente, alcançando um máximo e permanecendo constante.

Faça leituras regulares por mais 3 minutos enquanto a temperatura estiver constante.

Desligue o calorímetro e remova a bomba, coloque-a sobre o suporte. Alivie a pressão antes de abrir a bomba. Ao abrir, verifique o que sobrou na queima da amostra. Verifique os terminais elétricos. Se sobrar fio de ferro, ele deverá ser medido e descontado do valor inicial para efetuar os cálculos. Lembre-se que inicialmente o fio de ferro possuía 10 cm.

Estrela Verde do experimento

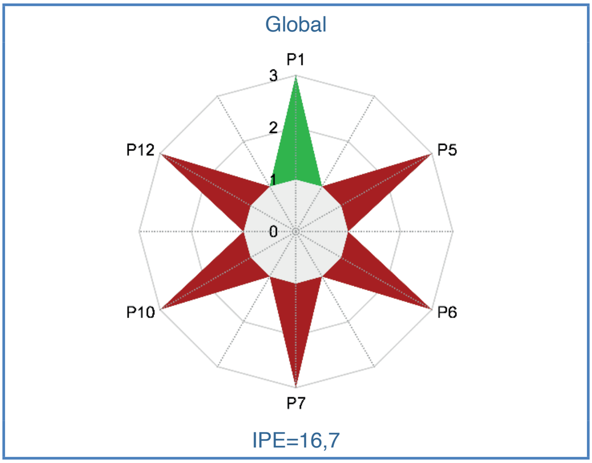


Figura 6.5 – Estrela Verde e IPE para o Experimento 6.5 - Calorimetria: determinação da variação de entalpia de combustão de sólidos

Fonte: dados da pesquisa.

Somente o Princípio de prevenção de formação de resíduos (P1) obteve pontuação máxima (Figura 6.5), pois todas as substâncias envolvidas são consumidas, não havendo formação de resíduos. Para todos os demais Princípios (P5, P6, P7, P10 e P12) a pontuação mínima foi atribuída, pois o ácido benzoico e o naftaleno apresentam alto risco à saúde, não são renováveis nem degradáveis e a prática exige temperatura e pressão diferentes das condições ambientes. Obteve-se um IPE igual a 16,67 para a EV desta prática.

6 I CONDUTIVIDADE DE SOLUÇÕES ELETROLÍTICAS

Objetivo

- Medir a condutividade molar a diluição infinita de eletrólitos fracos e fortes;
- calcular o grau de dissociação e a constante de dissociação de eletrólitos fracos.

Materiais e Reagentes

- Balão volumétrico
- Bureta
- Frasco de fundo chato
- Frasco lavador com água destilada
- Papel absorvente
- pHmetro ou indicador ácido-base (fenolftaleína)
- Condutivímetro
- Solução de cloreto de potássio 1,0 mol L^{-1}
- Solução de ácido acético 1,0 mol L^{-1}
- Solução padrão de cloreto de potássio ($0{,}7452\ g\ kg^{-1} = 0{,}01\ mol\ kg^{-1}$) para calibrar o condutivímetro

Procedimento experimental

Preparo das soluções

Numere os balões volumétricos de 1 a 9, para soluções de KCl, e de 1 a 9 para soluções de ácido acético.

Calcule os volumes necessários para preparar as soluções desejadas (Tabela 6.4). As soluções de ponto de partida apresentam concentração de 1,0 mol L^{-1}.

Prepare as soluções desejadas.

Solução	1	2	3	4	5	6	7	8	9
M2 (mol L^{-1})	0,10	0,050	0,010	0,0075	0,0050	0,0025	0,0010	0,00075	0,00050

Tabela 6.4 – Concentrações desejadas

Fonte: adaptado da apostila de Físico-Química (FÍSICO-QUÍMICA..., 2021).

Medidas da condutividade

Calibre o condutivímetro com solução padrão de KCl.

Enxágue o frasco e o condutivímetro com água destilada antes de fazer as medidas.

Verifique a temperatura das soluções e anote-as.

Faça a leitura da condutividade das soluções começando pela solução mais diluída.

Tratamento dos resíduos

As soluções de ácido acético usadas são consideradas diluídas, similares ao vinagre comercial. No entanto é importante verificar o pH antes de descartar. O pH de efluentes deve estar entre 5 a 9. Meça o pH usando um pHmetro e adicione gotas de base caso seja necessário. As soluções salinas de KCl são diluídas e não tóxicas, podendo ser descartadas no efluente.

Estrela Verde do experimento

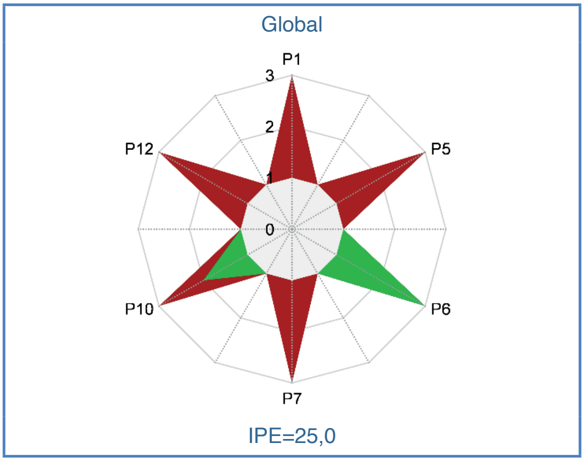


Figura 6.6 – Estrela Verde e IPE para o Experimento 6.6 - Condutividade de soluções eletrolíticas

Fonte: dados da pesquisa.

Atribuiu-se pontuação máxima somente ao Princípio de eficiência energética (P6), pois a prática não requer mudanças na temperatura e pressão (Figura 6.6). Já ao Princípio referente à degradabilidade (P10), atribuiu-se pontuação moderada, pois tanto o cloreto de potássio quanto o ácido acético podem ser tratados para obtenção da degradação com produtos inócuos. Aos demais Princípios, a pontuação mínima foi atribuída, pois as substâncias envolvidas não são renováveis (P7), apresentam risco máximo à saúde, moderado em relação a perigos físicos e máximos ao ambiente (P1, P5 e P12). Obteve-se um IPE igual a 25 para a EV da presente prática.

7 I EQUILÍBRIO LÍQUIDO-VAPOR EM SISTEMAS AZEOTRÓPICOS

Objetivo

Estudar, por refratometria, a destilação fracionada de um sistema de dois líquidos que formam uma mistura azeotrópica.

Materiais e Reagentes

- Aparelhagem de destilação conforme Figura 1
- Tubo de ensaio
- Refratômetro
- Termômetro
- Pipeta graduada
- Algodão ou papel macio
- Proveta
- Acetona
- Clorofórmio

Procedimento experimental

Monte o aparelho de destilação conforme a Figura 6.7.

Adicione 35 mL de acetona pura no balão e determine seu ponto de ebulição. Posicione o termômetro de modo que este fique em contato com o líquido e com o vapor. Recolha 2 mL de destilado após resfriado o sistema.

Adicione sobre a acetona restante no aparelho 4 mL de clorofórmio. Aqueça até a temperatura de ebulição e depois a mantenha constante; anote-a (T_1).

Descarte os 2 primeiros mL destilados e recolha os próximos 2 mL em um tubo de ensaio com rolha. Recolha 2 mL do resíduo.

Após esta coleta, todo o condensado deve voltar ao sistema. Os passos do parágrafo anterior devem ser feitos em T_1.

Siga os mesmos passos acima variando o volume adicionado de clorofórmio segundo a Tabela 6.5.

Determine o índice de refração das amostras de destilado e de resíduo.

Determine a concentração das amostras-problemas por meio de uma curva-padrão com os índices de refração da acetona pura e do clorofórmio puro.

Complete a Tabela 6.6.

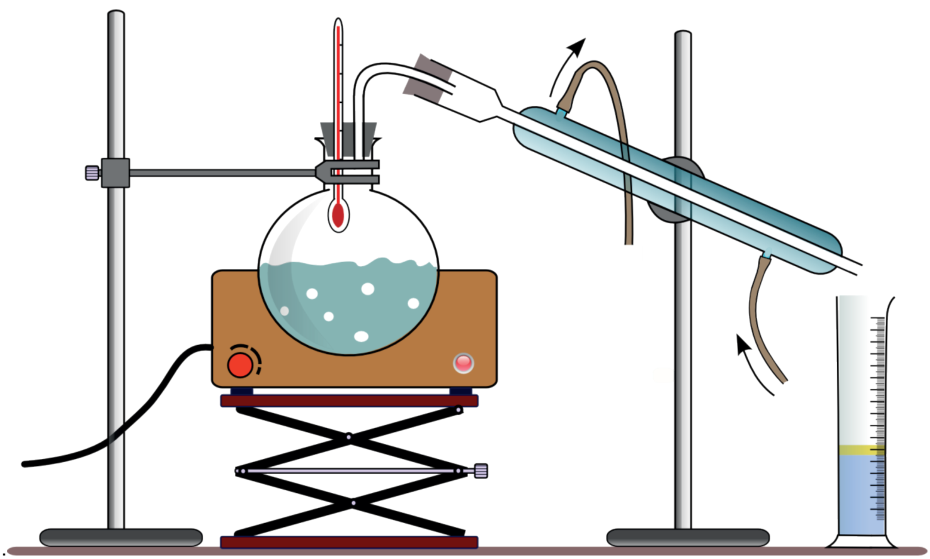


Figura 6.7 – Sistema para analisar a destilação de uma mistura binária

Fonte: https://pixabay.com/pt/vectors/qu%C3%ADmica-destila%C3%A7%C3%A3o-experimentar-161575/?download.

Amostra n.	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Vol. Clorofórmio (mL)	4	5	10	15	20	25	35

Tabela 6.5 – Quantidades de clorofórmio a serem adicionadas ao balão de destilação

Fonte: adaptado da apostila de Físico-Química (FÍSICO-QUÍMICA..., 2021).

Amostra	Teb	Índice de refração		% do clorofórmio	
		resíduo	Destilado	resíduo	destilado

Tabela 6.6 – Porcentagem molar de clorofórmio no resíduo e no destilado

Fonte: adaptado da apostila de Físico-Química (FÍSICO-QUÍMICA..., 2021).

Estrela Verde do experimento

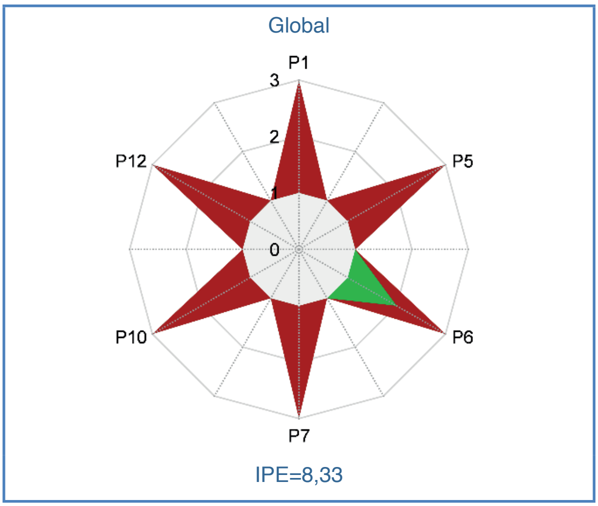


Figura 6.8 – Estrela Verde e IPE para o Experimento 6.7 - Equilíbrio líquido-vapor em sistemas azeotrópicos

Fonte: dados da pesquisa.

Clorofórmio e acetona são resíduos ao final do experimento e apresentam alto risco à saúde e perigos físicos (P1, P5 e P12), não são renováveis (P7) e o clorofórmio não é facilmente degradável (P10), o que levou à atribuição de pontuação mínima aos Princípios 1, 5, 7, 10 e 12 (Figura 6.8). Em relação à eficiência energética (P6), atribuiu-se pontuação moderada, pois embora a prática não exija mudança na pressão ambiente, a temperatura precisa ser elevada para que ocorra a destilação. Um IPE de 8,33 foi obtido.

8 I DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO MICELAR CRÍTICA DE UM SURFACTANTE POR MEDIDAS DE TENSÃO SUPERFICIAL E POR CONDUTIVIDADE

Objetivo

Estudar o comportamento de um surfactante (SDS) em meio aquoso e determinar sua concentração micelar crítica.

Materiais e Reagentes

- Béquer
- Balão volumétrico
- Frasco para medida da tensão superficial
- Papel para pesagem
- Espátula
- Tensiômetro de Du Nouy
- Balança
- Solução de dodecil sulfato de sódio (SDS) 0,10 mol L^{-1}
- Água deionizada

Procedimento experimental

Preparo das soluções

Meça e anote a temperatura da água a ser usada no preparo das soluções.

Prepare 50 mL de uma solução 0,10 mol L^{-1}.

Partindo da solução preparada no item 2, prepare 50 mL das soluções 1 a 4 da Tabela 6.7.

Seguindo o mesmo procedimento, mas usando a solução de 1,0 x 10^{-3}mol L^{-1} como estoque, prepare 50 mL das soluções 5 a 8 da Tabela 6.7.

	Estoque: 0,10 mol L-1				**Estoque: 1,0 x 10-3mol L-1**			
Solução n.	1	2	3	4	5	6	7	8
M2 (mol L^{-1})	5,0 x 10^{-2}	1,0 x 10^{-3}	5,0 x 10^{-3}	1,0 x 10^{-3}	5,0 x 10^{-4}	1,0 x 10^{-4}	5,0 x 10^{-5}	1,0 x 10^{-5}
V1 (mL)								

Tabela 6.7 – Dados para o preparo das soluções

Fonte: Fonte: adaptado da apostila de Físico-Química (FÍSICO-QUÍMICA..., 2021).

Medida da tensão superficial

Determine a tensão da água pura através de 4 leituras. Se os valores forem muito divergentes, limpe o material e recomece.

Inicie as medidas pela solução menos concentrada. Coloque o líquido (~20 mL) no frasco apropriado. Coloque a escala no medidor na posição zero e com o parafuso abaixe a plataforma até sua posição mais baixa. Coloque o frasco na plataforma. Com o parafuso na

sua posição mais baixa, suspenda a plataforma e o frasco até que o anel toque a superfície do líquido.

Aumente a tensão do fio de torção usando o parafuso até que o ponteiro do marcador coincida com o zero do espelho. Aumente a torção do fio e simultaneamente abaixe a plataforma, mantendo o ponteiro sempre coincidindo com o zero do espelho até que o anel se desprenda da superfície do líquido.

O valor lido na escala no ponto de desprendimento é a força exercida pela superfície do líquido sobre o anel, ou seja, a tensão superficial aparente. Para este trabalho não será necessário fazer correção das medidas.

Faça, no mínimo, 3 leituras para cada uma das soluções preparadas.

Determine a tensão superficial também para a solução estoque.

Meça os valores de condutividade para cada uma das soluções em um condutivímetro.

Tratamento dos resíduos

As soluções mais concentradas de SDS podem ser guardadas para usar como detergente e as mais diluídas podem ser descartadas na pia.

Estrela Verde do experimento

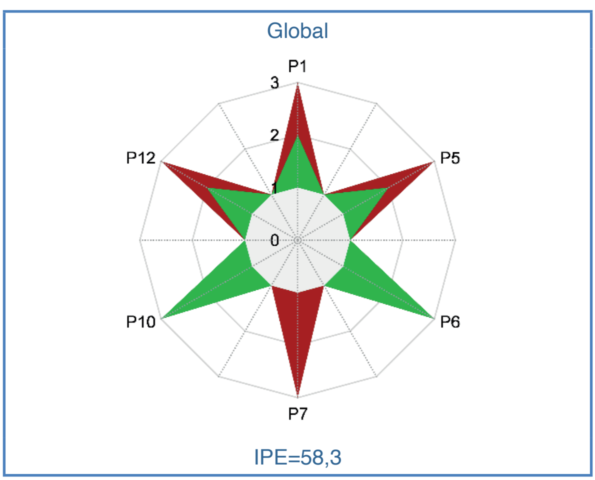


Figura 6.9 – Estrela Verde e IPE para o Experimento 6.8 - Determinação da concentração micelar crítica de um surfactante por medidas de tensão superficial e por condutividade

Fonte: dados da pesquisa.

Soluções de diferentes concentrações de dodecil sulfato de sódio são geradas como resíduo na presente prática. Por este motivo, a pontuação moderada foi atribuída aos Princípios P1, P5 e P12, pois tal substância pode causar irritação à pele e aos olhos (Figura 6.9). O fato dessa substância não ser renovável resultou na atribuição mínima ao Princípio

7. Como esse composto é facilmente degradável (P10) e a prática não exige mudanças de temperatura nem de pressão (P6), atribuiu-se pontuação máxima de verdura aos Princípios 6 e 10. Obteve-se um IPE de 58,33.

9 I DIAGRAMA DE SOLUBILIDADE DE UM SISTEMA TERNÁRIO

Objetivo

Construir um diagrama de fases para o sistema ácido acético-tolueno-água. Determinar as percentagens ponderais dos componentes no diagrama triangular.

Materiais e Reagentes

- Erlenmeyer
- Balança
- Proveta
- Bureta
- Suporte universal
- Garra para bureta
- Funil de separação
- Pipeta
- Triângulo de porcelana
- Agitador magnético
- Ímã para agitação
- NaOH 2.0 mol L^{-1}
- Tolueno
- Ácido acético
- Fenolftaleína

Procedimento experimental

Determinação da curva de equilíbrio

Prepare 5 misturas diferentes (com 10 g cada) de ácido acético e tolueno, usando frascos com tampa, com as seguintes percentagens em peso de ácido acético glacial: 10, 30, 50, 75 e 85%. Para evitar o processo cansativo de pesagem, calcule por meio das respectivas densidades os volumes correspondentes das massas de tolueno e ácido acético de cada sistema.

Numere os frascos de 1 a 5 e adicione em cada um os volumes pré-estabelecidos dos componentes acima, usando buretas. Os volumes adicionados não precisam ser exatamente os pré-calculados. Porém, devem ser precisamente conhecidos.

Titule lentamente, com água destilada, cada uma das soluções binárias preparadas, mantendo sempre o frasco sob forte agitação (pode ser manualmente). Faça adições cuidadosas de água, gota a gota, pois neste sistema a turvação surge com pequeno volume do terceiro componente.

Interrompa a titulação quando aparecer a primeira turvação permanente e anote o volume de água adicionado. Converta para gramas o volume expresso em mL.

Prepare 10g de 4 soluções de água e ácido acético, com as seguintes percentagens ponderais do ácido: 10, 30, 45 e 60%. Faça as adições com buretas. Numere os frascos restantes de 6 a 9.

Titule cada solução com tolueno, anotando o volume gasto no momento em que aparecer a primeira turvação.

Expresse as quantidades de tolueno gastas, em gramas, usando a sua densidade na temperatura da experiência.

Determinação das linhas de união

Em 3 funis de separação adicione as quantidades dos componentes segundo a Tabela 6.8.

Funil	Tolueno (mL)	Ác. Acético (mL)	Água (mL)
A	11	3	12
B	11	8	7
C	11	10	5

Tabela 6.8 – Quantidades de cada componente

Fonte: Fonte: adaptado da apostila de Físico-Química (FÍSICO-QUÍMICA..., 2021).

Feche o funil e agite durante 2 minutos, deixando, a seguir, em repouso durante 5 minutos até que separem as camadas líquidas.

Retire, usando pipetas de 5 mL, amostras das camadas superiores e inferiores, transferindo-as para frascos erlenmeyer com tampa, previamente pesados. Pese novamente cada erlenmeyer, a', a", b', b", etc., obtendo, por diferença, a massa das amostras. A camada inferior em cada funil de separação é a mais rica em água.

Titule cada amostra com solução de NaOH 2,0 mol L^{-1} usando fenolftaleína como indicador.

Anote o volume de base gasto e a massa de amostra titulada.

Estrela Verde do experimento

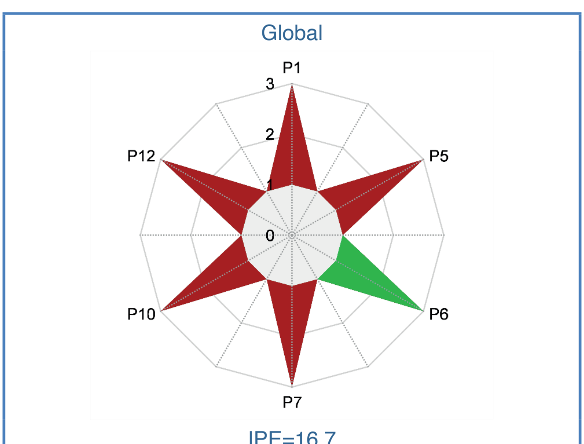


Figura 6.10 – Estrela Verde e IPE para o Experimento 6.9 - Diagrama de solubilidade de um sistema ternário

Fonte: dados da pesquisa.

Na presente prática não se faz necessária a variação da temperatura nem da pressão, fato observado na pontuação máxima atribuída ao P6 (Figura 6.10). Embora o hidróxido de sódio, o ácido acético e a fenoftaleína possam ser tratados para obter sua degradação em produtos inócuos, a presença de tolueno resulta na atribuição de pontuação mínima ao Princípio 10. Todas as substâncias envolvidas apresentam risco máximo à saúde, ao ambiente ou a perigos físicos, além de não serem renováveis, o que levou à atribuição da pontuação mínima nos demais Princípios (P1, P5, P12 e P7). O IPE para a EV da presente prática foi de 16,7.

10 I CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para a disciplina de Físico-Química Experimental A, a maioria dos experimentos teve IPE abaixo de 30, exceto pelos experimentos 6.2, 6.3 e 6.4 e 6.8, conforme se vê na Figura 6.11. Os baixos valores observados decorreram do uso de um número elevado de substâncias, como sais de metais pesados, solventes orgânicos e indicadores, que, consequentemente, apresentam maiores perigos à saúde, ambiente e de acidentes.

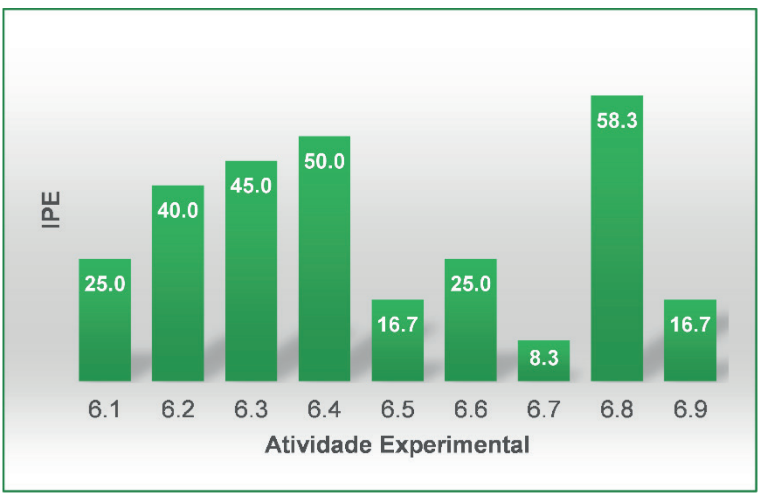


Figura 6.11 – Avaliação da verdura química de atividades experimentais da disciplina de Físico-Química

Fonte: dados da pesquisa.

Os baixos valores de IPE na maioria dos experimentos desenvolvidos nesta disciplina também foram influenciados por dificuldades em encontrar informações nas FISPQ ou por limitações da própria métrica, a EV. A falta de informação nas FISPQ acerca da degradabilidade e renovabilidade das substâncias pode ter diminuído o valor dos IPE. Nem sempre essas informações são encontradas, sendo necessária a busca em outras fontes ou a atribuição da pontuação mínima de verdura química em consequência da falta de informações.

Muitos solventes e substâncias auxiliares são utilizados em concentrações diferentes daquelas registradas nas FISPQ, o que reflete na obtenção de baixos IPE. Por exemplo, na atividade experimental 6.2 desta disciplina se utiliza ácido clorídrico 3,0 mol L^{-1}, mas foram encontradas na FISPQ informações para uma solução de aproximadamente 10 mol L^{-1}.

Ao construir uma EV, não são levadas em consideração a quantidade de solvente e/ou substâncias envolvidas, nem a quantidade de resíduos gerados. Ao procurar os profissionais responsáveis pela disciplina para esclarecerem sobre o destino e tratamento de resíduos nas apostilas, obteve-se a informação de que, em algumas das práticas, os resíduos não degradáveis e altamente perigosos geralmente foram utilizados em pequena quantidade, como é o caso da fenolftaleína e alguns ácidos que apresentam alta periculosidade à saúde.

Um aspecto a ser observado nos experimentos acima é a informação sobre tratamento de resíduos gerados nos experimentos. Apenas o roteiro do experimento 01 apresenta um tópico referente ao tratamento de resíduos, ainda que, no caso da UFSC, todos os resíduos gerados nos experimentos sejam tratados. A importância do conhecimento do destino final das substâncias envolvidas nas práticas realizadas pelos futuros químicos é essencial para sua formação e tal conhecimento é, na maioria das vezes, inexistente. Não somente pela falta de informações e/ou orientações nos roteiros experimentais, mas também pela falta eventual de incentivo por parte dos professores e da própria instituição de ensino, pela falta de cultura de cuidados com o ambiente. Nesse sentido, o uso da métrica Estrela Verde aos roteiros experimentais se mostra útil, tanto no pré quanto no pós-laboratório.

ATIVIDADES EXPERIMENTAIS DA DISCIPLINA DE QUÍMICA ANALÍTICA EXPERIMENTAL I[1]

Fabiana Luvizon

Santiago Francisco Yunes

Patricia Link Rüntzel

Assim como no capítulo anterior, a apresentação dos experimentos, suas análises e metrificações foram desenvolvidas a partir das apostilas disponibilizadas na disciplina de Química Analítica Experimental I no ano de 2021 (QUÍMICA ANALÍTICA..., 2021), sendo que o texto e as informações das apostilas foram simplificados.

Para todas as atividades experimentais aqui analisadas, os reagentes, solventes, produtos e resíduos foram inventariados e os perigos dessas substâncias foram pesquisados por meio das FISPQ disponíveis online, registrando-se essas informações conforme o modelo na Tabela 3.4. Em seguida, foram utilizadas planilhas do programa Microsoft Excel (disponível no Ambiente Temático Virtual - Química Verde) para a construção de um gráfico radial, a EV, conforme explicado na seção 3.2 Construção da Estrela Verde. Com base nesta metodologia, foi construída uma EV para cada experimento analisado e, junto com elas, o seu valor de IPE.

Os materiais para gerar a EV em salas de aula ou laboratórios podem ser consultados em Apêndice A. Alternativamente, a EV pode ser gerada por meio de uma calculadora virtual, disponível na página do Quimidex.

1 I EQUILÍBRIO DE ÁCIDOS E BASES FRACAS

Objetivos

Mediante a utilização de indicadores de pH, estudar o efeito da adição de eletrólitos fortes e fracos na água, assim como o efeito da adição do íon comum sobre o deslocamento dos equilíbrios químicos. Interpretar os equilíbrios envolvidos nas reações das soluções tampão e de hidrólise de sais.

1. Autores responsáveis pela análise dos roteiros experimentais. Os experimentos foram concebidos por diversos professores do Departamento de Química / UFSC.

Materiais e reagentes

- Ácido acético 6,0 mol L^{-1}
- Solução de amônia 6,0 mol L^{-1}
- Solução de ácido clorídrico 0,10 mol L^{-1}
- Solução de hidróxido de sódio 0,10 mol L^{-1}
- Solução saturada de acetato de sódio
- Solução saturada de acetato de amônio
- Solução saturada de cloreto de amônio
- Solução saturada de cloreto de sódio
- Solução saturada de dihidrogenofosfato de sódio
- Solução saturada de monohidrogenofosfato de sódio
- Solução saturada de hidrogenocarbonato de sódio
- Solução saturada de carbonato de sódio
- Soluções tampão pH 3 a11
- Fenolftaleína

Procedimento experimental

Parte 1 - Efeito do íon comum

- **Escala padrão de pH**

Verifique a cor da solução- tampão de modo a preencher a Tabela 7.1.

pH	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Cor									

Tabela 7.1 – Cor do indicador universal em diferentes valores de pH

Fonte: Fonte: adaptado da apostila de Química Analítica (QUÍMICA ANALÍTICA..., 2021).

- **Efeito do íon acetato na dissociação do ácido acético**

Coloque 20 gotas de água destilada em um tubo de ensaio.

Acrescente 1 gota de indicador universal, homogeneíze e verifique o pH com base na parte anterior (Escala padrão de pH). Anote o valor aproximado.

Acrescente uma gota de ácido acético 6,0 mol L^{-1}, homogeneíze e anote o valor aproximado do pH.

Acrescente 2 gotas de solução saturada de acetato de sódio, homogeneíze e anote do valor aproximado do pH.

- **Efeito do íon amônio na dissociação da amônia (hidróxido de amônio)**

Repita a parte anterior (Efeito do íon acetato na dissociação do ácido acético) utilizando uma gota de amônia 6,0 mol L^{-1} no lugar do ácido acético 6,0 mol L^{-1} e anote o valor de pH.

Acrescente 2 gotas de solução saturada de cloreto de amônio, homogeneíze e verifique o pH.

- **Efeito do íon monohidrogenofosfato na dissociação do íon dihidrogenofosfato**

Repita a parte "Efeito do íon acetato na dissociação do ácido acético" utilizando uma gota de solução saturada de dihidrogenofosfato de sódio no lugar do ácido acético 6,0 mol L^{-1}, e anote o pH.

Acrescente 2 gotas de solução saturada de monohidrogenofosfato de sódio, homogeneíze e verifique o pH.

- **Efeito do íon carbonato na dissociação do íon hidrogenocarbonato**

Repita a parte "Efeito do íon acetato na dissociação do ácido acético" utilizando uma gota de solução saturada de hidrogenocarbonato de sódio no lugar do ácido acético 6,0 mol L^{-1}, anote o pH.

Acrescente 2 gotas de solução saturada de carbonato de sódio, homogeneíze e verifique o pH.

Parte 2 - Efeito tampão

Nessa parte, você irá construir uma escala padrão de pH e avaliar propriedades da solução tampão.

- **Escala para variação de pH**

Coloque em dois tubos de ensaio 2 mL de água destilada e uma gota da solução de indicador universal. Anotar o valor do pH observado.

Em um dos tubos adicione, sob agitação, gota a gota a solução de ácido clorídrico 0,10 mol L^{-1}. Verifique o pH da solução após cada adição.

No outro tubo adicione, sob agitação, gota a gota, solução de hidróxido de sódio 0,10 mol L^{-1}. Verifique o pH da solução após cada adição.

- **Adição de ácido e de base fortes ao tampão ácido acético/acetato de sódio**

Coloque em dois tubos de ensaio 2 mL de água destilada, acrescente em cada tubo 2 gotas de indicador universal, homogeneíze e verifique o pH por através da Tabela 7.1.

Acrescente uma gota de ácido acético 6,0 mol L^{-1}, homogeneíze e registre novamente o pH do sistema.

Acrescente 2 gotas de solução saturada de acetato de sódio, homogeneíze e verifique o pH.

- **Adição de ácido e de base fortes ao tampão amônia/ cloreto de amônio**

Repita a parte "Adição de ácido e de base fortes ao tampão ácido acético/acetato de sódio" utilizando uma gota de amônia 6,0 mol L^{-1} no lugar do ácido acético 6,0 mol L^{-1}.

Acrescente 2 gotas de solução saturada de cloreto de amônio, a ambos os tubos, homogeneíze e verifique o pH.

- **Hidrólise de sais**

Numere 8 tubos de ensaio e os identifique.

Adicione 2 gotas de água destilada e uma gota do indicador universal a cada tubo.

Adicione 2 gotas de solução saturada dos sais conforme a Tabela 7.2.

Preencha a Tabela 7.2.

Sistema	pH aproximado	Equações de dissociação e hidrólise
1. H_2O		
2. NaCl		
3. NH_4Cl		
4. CH_3COONa		
5. CH_3COONH_4		
6. Na_2HPO_4		
7. $NaHCO_3$		
8. Na_2CO_3		

Tabela 7.2 – Valores aproximados de pH, equações de dissociação e hidrólise

Fonte: dados da pesquisa.

Estrela Verde do experimento

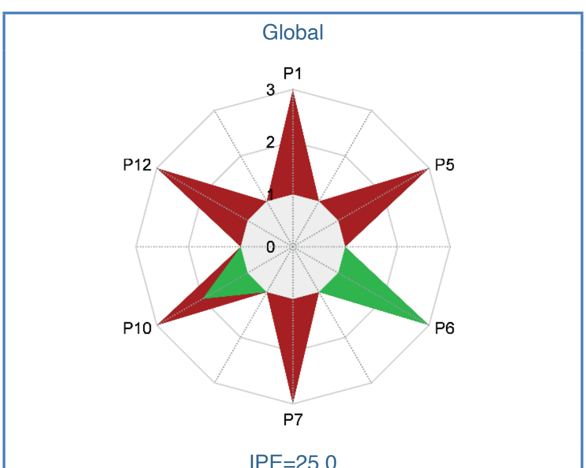


Figura 7.1 – Estrela Verde e IPE para o Experimento 7.1 - Equilíbrio de ácidos e bases fracas

Fonte: dados da pesquisa.

Por envolver diversos reagentes que apresentam riscos, moderados ou graves, à saúde, meio ambiente e/ou físicos e reagentes não renováveis, mesmo que em pequenas quantidades, a estrela verde obtida apresentou um baixo IPE (Figura 7.1). Os únicos Princípios que pontuaram foram o 6 (P6) e o 10 (P10), referentes à eficiência energética e à degradabilidade, respectivamente. Por se tratar de uma prática em que não há necessidade de alterações na pressão e na temperatura, o Princípio 6 recebeu pontuação máxima de verdura. Já o Princípio 10 recebeu pontuação moderada de verdura em decorrência da possibilidade de tratamento dos resíduos para obtenção de produtos de degradação inócuos. Tais fatores levaram à obtenção de um IPE igual a 25.

2 I EQUILÍBRIOS DE PRECIPITAÇÃO

Objetivos

Interpretar a dissolução de compostos pouco solúveis devido à formação de espécies solúveis e mais estáveis.

Materiais e reagentes

- Tubo de ensaio
- Solução de nitrato de chumbo 0,10 mol L^{-1}
- Solução de cromato de potássio 0,10 mol L^{-1}
- Solução de amônia 1,0 mol L^{-1}
- Solução de cloreto de cálcio 0,10 mol L^{-1}
- Solução de carbonato de sódio 0,10 mol L^{-1}
- Solução de cloreto de sódio 0,10 mol L^{-1}
- Solução de nitrato de prata 0,10 mol L^{-1}
- Solução de sulfato de cobre 0,10 mol L^{-1}
- Solução de hidróxido de sódio 0,10 mol L^{-1}
- Solução de ácido clorídrico 3,0 mol L^{-1}
- Solução de nitrato de estrôncio 0,10 mol L^{-1}
- Solução de cloreto de bário 0,10 mol L^{-1}

Procedimento experimental

Reações com Ag^+

Num tubo de ensaio contendo 10 gotas de água, acrescente 2 gotas de solução de nitrato de prata 0,10 mol L^{-1} e 2 gotas de solução de cloreto de sódio 0,10 mol L^{-1}. Agite e observe.

Adicione em seguida, na solução do item 1, gotas em excesso de amônia 1,0 mol L^{-1}, agite bem e observe.

Reações com Pb^{2+}

Num tubo de ensaio contendo 0,5 mL de água, acrescente 2 gotas de solução de nitrato de chumbo 0,10 mol L^{-1} e 2 gotas de solução de cromato de potássio 0,10 mol L^{-1}. Agite e observe.

Num tubo de ensaio contendo 0,5 mL de água, acrescente 2 gotas de solução de nitrato de chumbo 0,10 mol L^{-1} e 2 gotas de solução de cromato de potássio 0,10 mol L^{-1}.

Adicione sob agitação 3 gotas de solução de amônia 1,0 mol L^{-1}, agite e observe.

Num tubo de ensaio contendo 0,5 mL de água, acrescente 2 gotas de solução de nitrato de chumbo 0,10 mol L^{-1} e 2 gotas de solução de cromato de potássio 0,10 mol L^{-1}. Agite e observe. Adicione hidróxido de sódio 0,10 mol L^{-1} em vez de amônia e compare os dois sistemas.

Reações com Cu^{2+}

Num tubo de ensaio contendo 0,5 mL de água, acrescente 2 gotas de solução de sulfato de cobre 0,10 mol L^{-1} e 2 gotas de solução de amônia 1,0 mol L^{-1}. Agite e observe; após, observe o que acontece ao adicionar excesso de amônia.

Num tubo de ensaio contendo 0,5 mL de água, acrescente 2 gotas de solução de sulfato de cobre 0,10 mol L^{-1} e 2 gotas de solução de hidróxido de sódio 0,10 mol L^{-1}. Verifique o que acontece ao adicionar excesso de hidróxido de sódio.

Reações com Ca^{2+}, Sr^{2+} e Ba^{2+}

Coloque em três tubos de ensaio 1,0 mL das seguintes soluções 0,10 mol L^{-1}: (I) cloreto de cálcio, (II) nitrato de estrôncio e (III) cloreto de bário. Adicione a cada um deles 1,0 mL de solução de carbonato de sódio 0,10 mol L^{-1}, observe. Em seguida, adicione ácido clorídrico 3,0 mol L^{-1}, observe.

Estrela Verde do experimento

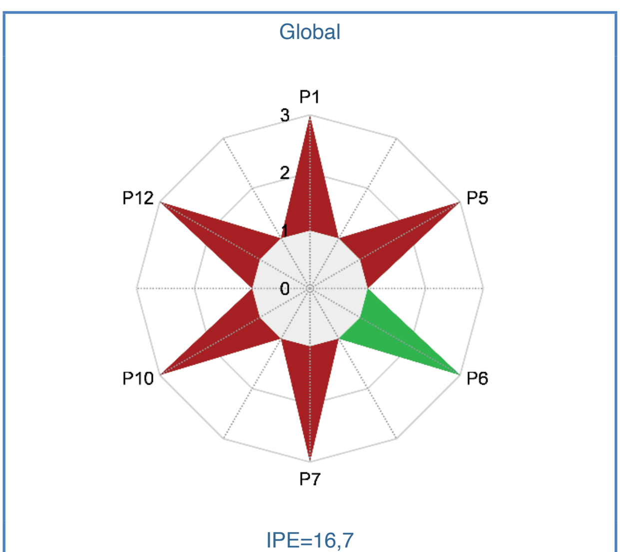


Figura 7.2 – Estrela Verde e IPE para o Experimento 7.2 - Equilíbrios de precipitação

Fonte: dados da pesquisa.

Por envolver diversos reagentes que apresentam riscos, moderados ou graves, à saúde, meio ambiente e/ou físicos e reagentes não renováveis, mesmo que em pequenas quantidades, a estrela verde obtida apresentou um baixo IPE (Figura 7.2). Por se tratar de uma prática em que não há necessidade de alterações na pressão e na temperatura, o Princípio 6 recebeu pontuação máxima de verdura. Já o Princípio 10 recebeu pontuação mínima de verdura em decorrência da não possibilidade de tratamento dos resíduos para obtenção de produtos de degradação inócuos. Tais fatores levaram à obtenção de um IPE igual a 16,67.

3 I EQUILÍBRIO DE COMPLEXAÇÃO

Objetivos

Estudar as reações de complexação e interpretar o deslocamento dos equilíbrios químicos.

Materiais e reagentes

- Tubo de ensaio
- Béquer
- Solução de cloreto férrico 0,10 mol L^{-1}
- Solução saturada de cloreto férrico
- Solução de tiocianato de amônio 0,10 mol L^{-1}
- Solução saturada de tiocianato de amônio
- Solução saturada de cloreto de sódio
- Solução de fluoreto de sódio 1,0 mol L^{-1}
- Solução de sulfato de cobre 0,10 mol L^{-1}
- Solução de amônia 1,0 mol L^{-1}
- Solução de ácido sulfúrico 1,0 mol L^{-1}

Procedimento experimental

Sistema Fe^{3+} / SCN^{-}

Em um tubo de ensaio contendo 1,0 mL de água destilada, acrescente 1 gota de solução de cloreto férrico 0,10 mol L^{-1} e 6 gotas de solução de tiocianato de amônio 0,10 mol L^{-1}, agite e observe.

Coloque 6,0 mL de água destilada em um béquer, acrescente 4 gotas de solução de cloreto férrico 0,10 mol L^{-1} e 4 gotas de solução de tiocianato de amônio 0,10 mol L^{-1} e agite.

Transfira o conteúdo em quantidades aproximadas para cinco tubos de ensaio devidamente numerados.

Tubo 1: Serve de referência.

Tubo 2: Adicione seis gotas de solução saturada de cloreto de sódio, agite até a dissolução e compare com o tubo 1.

Tubo 3: Adicione uma gota de solução saturada de cloreto férrico, agite e compare com o tubo 1.

Tubo 4: Adicione uma gota de solução saturada do tiocianato de amônio, agite e compare com o tubo 1.

Tubo 5: Adicione solução de fluoreto de sódio 1,0 mol L^{-1} gota a gota.

Sistema Cu^{2+}/ NH_3

Coloque em um tubo de ensaio 5 gotas de solução de sulfato de cobre 0,10 mol L^{-1}, adicione apenas uma gota de solução de amônia 1,0 mol L^{-1}, agite e observe.

A seguir continue adicionando, sob observação, gota a gota solução de amônia 1,0 mol L^{-1}, até ocorrer dissolução do precipitado.

Adicione a seguir gotas de solução de ácido sulfúrico 1,0 mol L^{-1} até ocorrer uma nítida transformação.

Estrela Verde do experimento

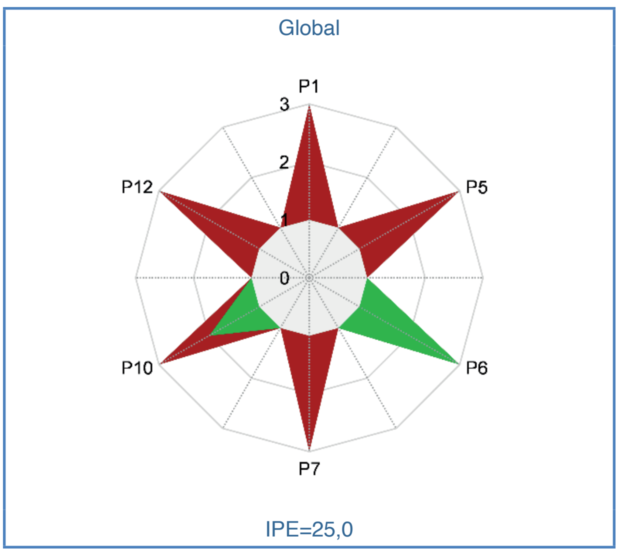


Figura 7.3 – Estrela Verde e IPE para o Experimento 7.3 - Equilíbrio de complexação

Fonte: dados da pesquisa.

Por envolver diversos reagentes que apresentam riscos, moderados ou graves, à saúde, meio ambiente e/ou físicos e reagentes não renováveis, mesmo que em pequenas quantidades, a estrela verde obtida apresentou um baixo IPE (Figura 7.3). Os únicos Princípios que pontuaram foram o 6 (P6) e o 10 (P10), referentes à eficiência energética e a degradabilidade, respectivamente. Por se tratar de uma prática em que não há necessidade de alterações na pressão e na temperatura, o Princípio 6 recebeu pontuação máxima de verdura. Já o Princípio 10 recebeu pontuação moderada de verdura em decorrência da possibilidade de tratamento dos resíduos para obtenção de produtos de degradação inócuos. Tais fatores levaram à obtenção de um IPE igual a 25.

4 I EQUILÍBRIOS DE ÓXIDO-REDUÇÃO

Objetivos

Interpretar a perturbação de um equilíbrio de precipitação ou de complexação devido à oxidação ou redução das espécies presentes.

Materiais e reagentes

- Tubo de centrífuga
- Tubo de ensaio
- Solução de nitrato de chumbo 0,10 mol L^{-1}
- Solução de brometo de potássio 0,10 mol L^{-1}
- Solução de cloreto férrico 0,10 mol L^{-1}
- Solução de iodeto de potássio 0,10 mol L^{-1}
- Solução de hidróxido de sódio 3,0 mol L^{-1}
- Solução de tiocianato de amônio 0,10 mol L^{-1}
- Hipoclorito 3,0 mol L^{-1}
- Clorofórmio ou tetracloreto de carbono

Procedimento experimental

Equilíbrio de óxido-redução

Coloque num tubo de centrífuga 0,5 mL de solução de nitrato de chumbo 0,10 mol L^{-1} e adicione solução de iodeto de potássio 0,10 mol L^{-1} até completar a formação do precipitado. Observe.

Centrifugue e despreze o sobrenadante. Ao precipitado adicione a solução de hipoclorito de sódio, agite vigorosamente e observe.

Acrescente 0,5 mL de clorofórmio (ou tetracloreto de carbono- CCl_4), agite e observe.

Coloque num tubo de ensaio 1,0 mL de solução de cloreto férrico 0,10 mol L^{-1} e adicione 1,0 mL de solução de tiocianato de amônio 0,10 mol L^{-1}. Separe a solução em dois tubos de ensaio. Num deles adicione iodeto de sódio 0,10 mol L^{-1} e no outro brometo de potássio 0,10 mol L^{-1}.

Em seguida, acrescente clorofórmio ou CCl_4 aos tubos, agite e compare os dois sistemas. Verifique se houve mudança de cor na fase orgânica.

Coloque em 2 tubos de ensaio 1,0 mL de cloreto férrico 0,10 mol L^{-1} em cada um, adicione solução de iodeto de potássio 0,10 mol L^{-1} em um tubo e brometo de potássio 0,10 mol L^{-1} no outro e agite. Acrescente 0,5 mL de clorofórmio ou CCl_4, agite e observe.

Num tubo de centrífuga, coloque 0,5 mL de solução de cloreto férrico 0,10 mol L^{-1} e adicione solução de hidróxido de sódio 3,0 mol L^{-1}. Centrifugue e retire o sobrenadante. Ao resíduo adicione gota a gota solução de iodeto de potássio 0,10 mol L^{-1}, fazendo com os reagentes entrem em contato. Acrescente clorofórmio ou CCl_4, agite e observe.

Estrela Verde do experimento

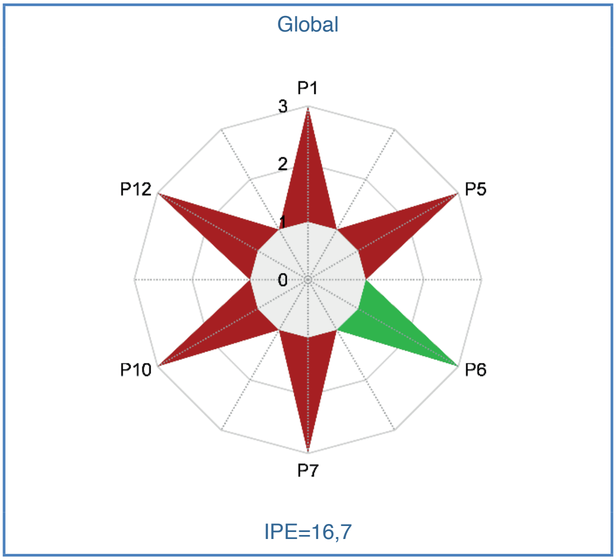


Figura 7.4 – Estrela Verde e IPE para o Experimento 7.4 - Equilíbrios de óxido-redução

Fonte: dados da pesquisa.

Por envolver diversos reagentes que apresentam riscos, moderados ou graves, à saúde, meio ambiente e/ou físicos e reagentes não renováveis, mesmo que em pequenas quantidades, a estrela verde obtida apresentou um baixo IPE (Figura 7.4). Por se tratar de uma prática em que não há necessidade de alterações na pressão e na temperatura, o Princípio 6 recebeu pontuação máxima de verdura. O Princípio 10 recebeu pontuação mínima de verdura, pois o resíduo, por envolver metal pesado como o chumbo, não é passível de tratamento para obtenção de produtos de degradação inócuos. Embora os resíduos passem por tratamento, parte deles ainda é descartada em aterros industriais. Tais fatores levaram à obtenção de um IPE igual a 16,67.

5 I SEPARAÇÃO ANALÍTICA DOS CÁTIONS DO GRUPO I: Ag^{+}, Hg_2^{2+} E Pb^{2+}

Objetivos

Observar a solubilidade dos cátions do grupo I, bem como separá-los analiticamente através da precipitação.

Materiais e reagentes

- Tubo de ensaio
- Pipeta de pasteur
- Chapa de aquecimento
- Lâmina de cobre
- Suporte para tubo de ensaio
- Banho-maria
- Solução de nitrato de prata 0,10 mol L^{-1}
- Solução de amônia 6,0 mol L^{-1}
- Solução de ácido nítrico 6,0 mol L^{-1}
- Solução de hidróxido de sódio 6,0 mol L^{-1}
- Solução saturada de acetato de amônio
- Solução de cromato de potássio 0,10 mol L^{-1}
- Solução de nitrato de chumbo 0,10 mol L^{-1}
- Solução de ácido clorídrico 6,0 mol L^{-1}
- Solução de ácido acético 6,0 mol L^{-1}
- Solução de iodeto de potássio 0,10 mol L^{-1}
- Solução de ácido sulfúrico 3,0 mol L^{-1}
- Solução de nitrato mercuroso 0,10 mol L^{-1}

Procedimento experimental

Parte 1 - Reações envolvendo Ag^{+}

- **Reação com HCl diluído**

Coloque em dois tubos de ensaio, respectivamente, 3 gotas de nitrato de prata 0,10 mol L^{-1} e adicione HCl 6,0 mol L^{-1} gota a gota até precipitação completa.

No primeiro tubo adicione 2 mL de água destilada, aqueça até ebulição e observe se ocorre ou não dissolução do precipitado.

No segundo tubo adicione gotas de NH_3 6,0 mol L^{-1} e observe se ocorre ou não dissolução do precipitado.

Neste último tubo, adicione ácido nítrico 6,0 mol L^{-1}, o que provoca nova precipitação do AgCl.

- **Reação com NaOH**

Coloque 3 gotas de solução de nitrato de prata 0,10 mol L^{-1} e cerca de 5 gotas de água destilada num tubo de ensaio, agite e adicione gotas de solução de NaOH 6,0 mol L^{-1}.

Observe as características do precipitado formado e teste a sua solubilidade com solução de NH_3 6,0 mol L^{-1}.

- **Reação com íon CrO_4^{-2}**

Adicione a um tubo de ensaio 3 gotas de solução de nitrato de prata 0,10 mol L^{-1} e 1 gota de K_2CrO_4 0,10 mol L^{-1}. A formação de um precipitado vermelho tijolo em meio neutro indica a presença de Ag^{+}.

Parte 2 - Reações envolvendo Pb^{2+}

- **Reação com HCl diluído**

Repita o procedimento do item 1.1. utilizando solução do íon Pb^{2+} em substituição à

solução do íon Ag^+.

- **Reação com íon CrO_4^{2-}**

Adicione a um tubo de ensaio 3 gotas de solução de nitrato de chumbo 0,10 mol L^{-1}, 1 gota de ácido acético 6,0 mol L^{-1} e gota(s) de K_2CrO_4 0,10 mol L^{-1}. A formação de um precipitado amarelo indica a presença de Pb^{2+}.

Teste a solubilidade do precipitado adicionando 5 gotas de HNO_3 6,0 mol L^{-1}.

- **Reação com I^-**

Adicione a um tubo de ensaio 3 gotas de solução de nitrato de chumbo 0,1 mol L^{-1} e acrescente gota a gota solução de iodeto de potássio 0,10 mol L^{-1}. Um precipitado amarelo indica a presença de Pb^{2+}.

- **Reação com SO_4^{2-}**

O íon Pb^{2+} reage com SO_4^{2-} produzindo $PbSO_4$ (branco). Esse teste é efetuado pela adição de algumas gotas de H_2SO_4 3,0 mol L^{-1} a uma solução de nitrato de chumbo 0,10 mol L^{-1}.

Teste a solubilidade do $PbSO_4$ em meio ácido mediante a adição de 5 gotas de HNO_3 6,0 mol L^{-1}.

- **Reação com NH_3**

Adicione a um tubo de ensaio 3 gotas de solução de nitrato de chumbo 0,10 mol L^{-1} e acrescente gota a gota solução de amônia 6,0 mol L^{-1}. Um precipitado branco, insolúvel na presença de excesso de reagente, indica a presença de Pb^{2+}.

Parte 3 - Reações envolvendo Hg^{2+}

- **Reação com HCl diluído**

Em dois tubos de ensaio contendo 3 gotas de nitrato mercuroso 0,10 mol L^{-1}, adicione HCl 6,0 mol L^{-1} gota a gota até precipitação completa.

Em um dos tubos teste a solubilidade a quente.

No outro tubo adicione solução de NH_3 6,0 mol L^{-1} gota a gota.

- **Reação do Hg_2^{2+} com cobre**

Mergulhe uma lâmina de cobre numa solução neutra ou levemente ácida que contenha íons Hg_2^{2+}. Descreva o fenômeno e equacione o resultado.

Parte 4 - Separação analítica dos cátions do grupo I

Transfira para um tubo de centrífuga 1,0 mL de solução problema. Acrescente HCl 6,0 mol L^{-1}, gota a gota, sob agitação. Aguarde a coagulação do precipitado e, em seguida, centrifugue. No mesmo tubo, adicione uma gota de HCl ao sobrenadante para testar a presença de Hg_2^{2+}, Ag^+ e Pb^{2+}. Caso ocorra precipitação, proceder nova centrifugação. Repita o procedimento anterior até não ocorrer mais precipitação. Centrifugue e despreze o sobrenadante.

Lave o precipitado do item 1 com 1,0 mL de água destilada, centrifugue e despreze o líquido de lavagem. Acrescente 2,0 mL de água destilada ao precipitado, misture bem e aqueça o sistema em banho-maria durante 5 minutos. Centrifugue ainda quente e transfira o sobrenadante para um tubo de ensaio.

Sobrenadante do item 4.2: pode conter Pb^{2+}. Junte 3 gotas de solução saturada de acetato de amônio e 1 gota de K_2CrO_4 0,10 mol L^{-1}. O aparecimento de um precipitado amarelo ($PbCrO_4$) indica a presença de íons Pb^{2+}.

Precipitado do item 4.2: pode conter Hg_2Cl_2 e AgCl. Lave o resíduo com 1,0 mL de água destilada quente e centrifugue. Transfira e teste o sobrenadante com solução de K_2CrO_4 0,10 mol L^{-1}. Se o teste der positivo, repita a operação de lavagem até não aparecer mais precipitado ($PbCrO_4$).

Trate o precipitado que não dissolveu no item 4.3 com 10 gotas de solução de NH_3 6,0 mol L^{-1}, agite e centrifugue. Separe o sobrenadante do precipitado.

Precipitado: Hg(l)(preto) + $Hg(NH_2)Cl$, indica a presença de íons Hg_2^{2+}. O sobrenadante pode conter $Ag(NH_3)_2^+$. Adicione 1 gota de fenolftaleína e acidifique com HNO_3 6,0 mol L^{-1} até a mudança de coloração. O aparecimento de um precipitado branco indica a presença de AgCl.

Estrela Verde do experimento

Parte 1. Reações envolvendo Ag^{+}

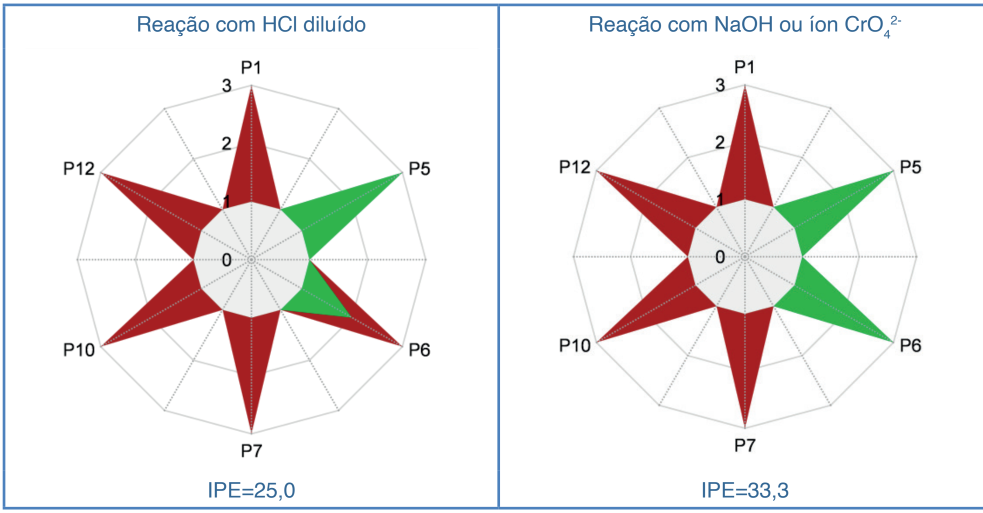


Figura 7.5 – Estrela Verde e IPE para o Experimento 7.5 - Parte 1: Reações envolvendo Ag^{+}

Fonte: dados da pesquisa.

Parte 2. Reações envolvendo Pb^{2+}

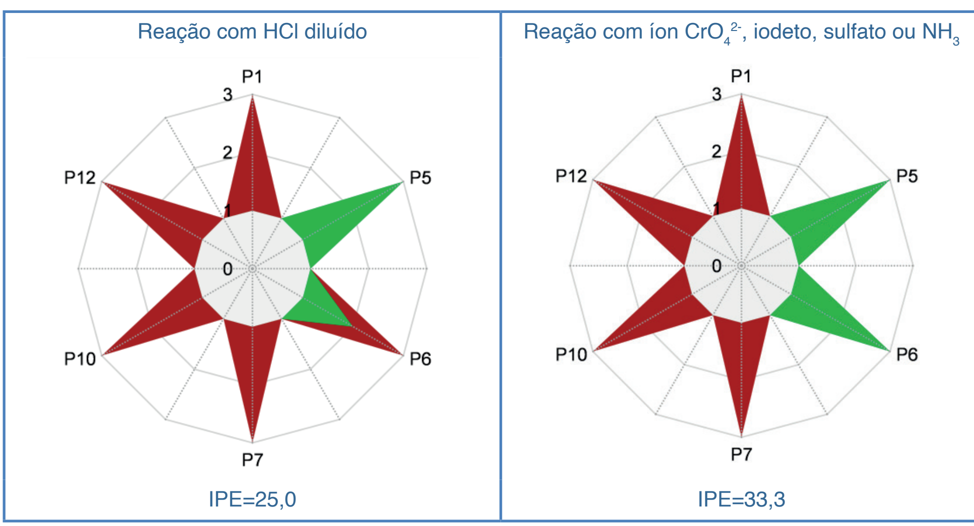


Figura 7.6 – Estrela Verde e IPE para o Experimento 7.5 - Parte 2: Reações envolvendo Pb^{2+}

Fonte: dados da pesquisa.

Parte 3. Reações envolvendo Hg^{2+}

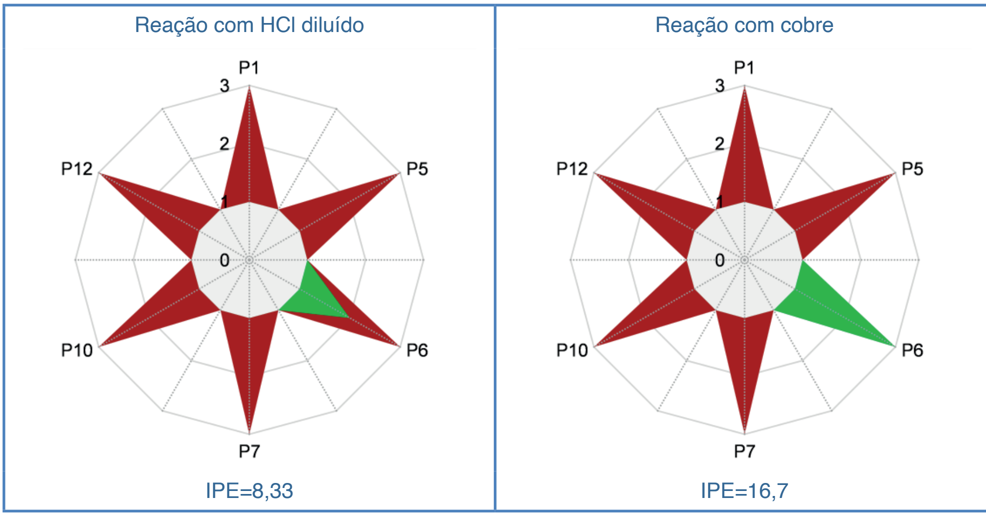


Figura 7.7 – Estrela Verde e IPE para o Experimento 7.5 - Parte 3: Reações envolvendo Hg^{2+}

Fonte: dados da pesquisa.

Parte 4. Separação analítica dos cátions do grupo I

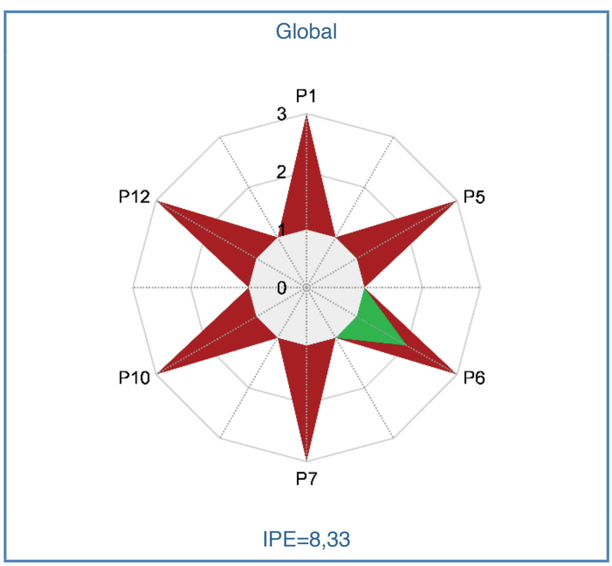


Figura 7.8 – Estrela Verde e IPE para o Experimento 7.5 - Parte 4: Separação analítica dos cátions do grupo I

Fonte: dados da pesquisa.

Os procedimentos realizados nas etapas de 1 a 4 (Figura 7.5 a Figura 7.8) são destinados a fazer a separação e identificação dos cátions em soluções aquosas. Portanto,

não foram considerados sínteses, pois seu intuito não era a produção das substâncias em si. Nota-se que a maioria dos procedimentos tem IPE bastante baixo, cerca de 33,3, nos quais os Princípios 5 e 6 são os únicos que consistentemente alcançam valores máximos de verdura (Figura 7.5 a Figura 7.8), já que os processos são feitos em condições moderadas de pressão e temperatura, com solventes e auxiliares seguros, considerando ainda que em algumas etapas o IPE chegue a 8,33 (quando aquecimento é usado).

Abaixo é apresentada a análise do processo como um todo.

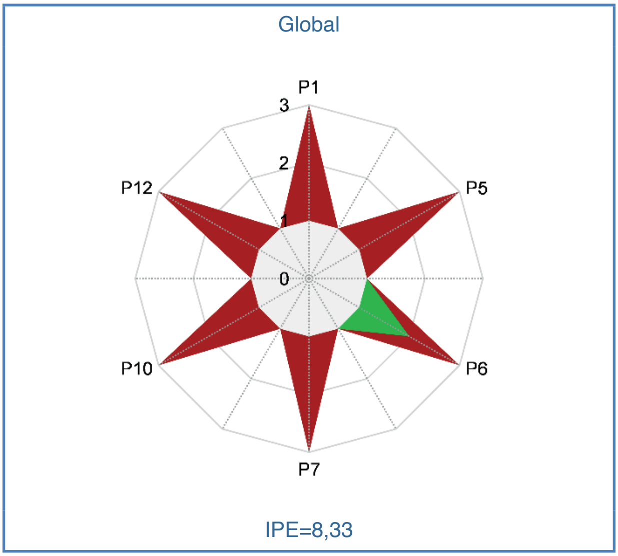


Figura 7.9 – Estrela Verde e IPE global para o Experimento 7.5 - Separação analítica dos cátions do grupo I: Ag^{+}, Hg_2^{2+}e Pb^{2+}

Fonte: dados da pesquisa.

Por envolver diversos reagentes que apresentam riscos, moderados ou graves, à saúde, meio ambiente e/ou físicos e reagentes não renováveis, mesmo que em pequenas quantidades, a estrela verde obtida apresentou um baixo IPE (Figura 7.9). Em relação aos resíduos gerados, não são passíveis de tratamento para obtenção de produtos de degradação inócuos, sendo assim, o Princípio 10 recebeu pontuação mínima de verdura. Já o Princípio 6 recebeu pontuação moderada, pois, embora não haja necessidade de alterações de pressão, alterações de temperatura são necessárias para a realização do experimento. Tais fatores levaram à obtenção de um IPE igual a 8,33.

6 I REAÇÕES CARACTERÍSTICAS E DE IDENTIFICAÇÃO DOS CÁTIONS DO GRUPO III- Fe^{3+}, Al^{3+}, Cr^{3+}, Mn^{2+}, Ni^{2+}, Co^{2+} E Zn^{2+}

Objetivos

Observar as reações características dos cátions do grupo III.

Materiais e reagentes

- Tubo de ensaio
- Suporte para tubo de ensaio
- Chapa de aquecimento
- Solução de Fe^{3+} 0,10 mol L^{-1}
- Solução de hidróxido de sódio 1,0 mol L^{-1}
- Solução de hidróxido de sódio 3,0 mol L^{-1}
- Solução de hidróxido de sódio 6,0 mol L^{-1}
- Solução de amônia 6,0 mol L^{-1}
- Amônia concentrada;
- Solução de tiocianato de amônio 0,10 mol L^{-1}
- Solução saturada de tiocianato de amônio
- Solução de ferrocianeto de potássio 0,10 mol L^{-1}
- Solução de Al^{3+} 0,10 mol L^{-1}
- Solução de cloreto de amônio 3,0 mol L^{-1}
- Aluminon 0,1% (m/v)
- Solução de carbonato de amônio 1,0mol L^{-1}
- Solução de Cr^{3+} 0,10 mol L^{-1}
- Solução de ácido acético 6,0 mol L^{-1}
- Peróxido de hidrogênio 3%
- Solução de Zn^{2+} 0,10 mol L^{-1}
- Solução de Mn^{2+} 0,10 mol L^{-1}
- Solução de Co^{2+} 0,10 mol L^{-1}
- Álcool amílico
- Solução de Ni^{2+} 0,10 mol L^{-1}
- Bismutato de sódio
- Solução de dimetilglioxima 0,10 mol L^{-1}

Procedimento experimental

Parte 1 - Reações envolvendo Ferro (III)

Reação com NaOH: coloque em um tubo de ensaio 5 gotas de solução de Fe^{3+} 0,10 mol L^{-1}, adicione 5 gotas de água e 2 gotas de NaOH 1,0 mol L^{-1}. Neste mesmo tubo adicione NaOH 3,0 mol L^{-1} em excesso para testar a solubilidade.

Reação com NH_3: coloque em um tubo de ensaio 5 gotas de solução de Fe^{3+} 0,10 mol L^{-1}, adicione 5 gotas de água e 1 gota de NH_3 6,0 mol L^{-1}. Observe a formação de precipitado gelatinoso insolúvel em excesso de reagente, mas solúvel em ácidos.

Reação com tiocianato: coloque em um tubo de ensaio 5 gotas de solução de Fe^{3+} 0,10 mol L^{-1}, adicione 5 gotas de água e 1 gota de solução de tiocianato de amônio 0,10 mol L^{-1}. Observe a formação do complexo.

Reação com ferrocianeto: coloque em um tubo de ensaio 5 gotas de solução de Fe^{3+} 0,10 mol L^{-1}, adicione 5 gotas de água e 2 gotas solução de ferrocianeto de potássio 0,10 mol L^{-1}. Observe a formação do precipitado.

Parte 2 - Reações envolvendo Alumínio (III)

Reação com NaOH: coloque em um tubo de ensaio 10 gotas de solução contendo o íon Al^{3+} 0,10 mol L^{-1}, adicione 2 gotas de solução de NaOH 3,0 mol L^{-1}. Neste mesmo tubo adicione 2 gotas de NaOH 6,0 mol L^{-1} em excesso para testar a solubilidade.

Reação com NH_3: coloque em um tubo de ensaio 10 gotas de solução contendo o íon Al^{3+} 0,10 mol L^{-1}, adicione 3 gotas de NH_4Cl 3,0 mol L^{-1} e 1 gota de NH_3 6,0 mol L^{-1}. Observe a formação de um precipitado gelatinoso (levemente solúvel em excesso de reagente, sendo que a solubilidade diminui na presença de sais de amônio).

Reação com aluminon: coloque em um tubo de ensaio 10 gotas de solução contendo o íon Al^{3+} 0,10 mol L^{-1}, adicione 10 gotas de aluminon 0,1% (m/v) e 3 gotas de NH_3 6,0 mol L^{-1}. Agite bem e adicione 2 mL (20 gotas) de carbonato de amônio 1,0 mol L^{-1} e centrifugue.

Parte 3 - Reações envolvendo Cromo (III)

Reação com NaOH: coloque em um tubo de ensaio 10 gotas de solução de Cr^{3+} 0,10 mol L^{-1}, adicione 4 gotas de NaOH 1,0 mol L^{-1}. Neste mesmo tubo, adicione 3 gotas de NaOH 6,0 mol L^{-1} em excesso para testar a solubilidade. Observe que o precipitado é solúvel em excesso de NaOH, formando o complexo. Guarde este tubo (3.1) para fazer a reação com H_2O_2.

Reação com NH_3: coloque em um tubo de ensaio 10 gotas de solução de Cr^{3+} 0,10 mol L^{-1}, adicione 2 gotas de NH_3 3,0 mol L^{-1}. Observe a formação de um precipitado gelatinoso verde cinzento a azul cinzento. Neste mesmo tubo adicione 5 gotas de NH_3 concentrada (excesso), agite e deixe em repouso por 5 minutos. Depois, observe que o precipitado é levemente solúvel formando um complexo de coloração violeta ou rosa. A reação é lenta; se a cor rosa demorar a aparecer adicione 1 ou 2 gotas de ácido acético 3,0 ou 6,0 mol L^{-1}.

Reação com H_2O_2/NaOH a quente: No tubo 3.1. (que foi guardado) adicione dez gotas de H_2O_2 3%. Aqueça à ebulição por 2 minutos até cessar o desprendimento de O_2. A solução se tornará amarela devido à presença do íon cromato.

Parte 4 - Reações envolvendo Zinco (II)

Reação com NaOH: coloque em um tubo de ensaio 10 gotas de solução de Zn^{2+} 0,10 mol L^{-1}, adicione 2 gotas de NaOH 1,0 mol L^{-1}. Observe a formação de um precipitado branco. Neste mesmo tubo, adicione 2 gotas de NaOH 6,0 mol L^{-1} em excesso para testar a solubilidade. Observe que o precipitado é solúvel em excesso de NaOH, formando um complexo.

Reação com NH_3: coloque em um tubo de ensaio 10 gotas de solução de Zn^{2+} 0,10 mol L^{-1}, adicione 2 gotas de NH_3 3,0 mol L^{-1}. Observe a formação de um precipitado branco. Neste mesmo tubo adicione 3 gotas de NH_3 6,0 mol L^{-1} (excesso). Observe que o precipitado é solúvel em amônio e sais de amônio.

Reação com ferrocianeto de potássio: coloque em um tubo de ensaio 10 gotas de solução de Zn^{2+} 0,10 mol L^{-1}, adicione 2 gotas de ferrocianeto de potássio 0,10 mol L^{-1}. Observe a formação de um precipitado de composição variável.

Parte 5 - Reações envolvendo Manganês (II)

Reação com NaOH: coloque em um tubo de ensaio 10 gotas de solução de Mn^{2+} 0,10 mol L^{-1}, adicione 2 gotas de NaOH 1,0 mol L^{-1}. Neste mesmo tubo, adicione NaOH 3,0

mol L^{-1} em excesso para testar a solubilidade. Observe que o precipitado é insolúvel em excesso de NaOH e que o precipitado se oxida rapidamente com o ar, tornando-se marrom, formando dióxido de manganês hidratado.

Reação com NH_3: coloque em um tubo de ensaio 10 gotas de solução de Mn^{2+} 0,10 mol L^{-1}, adicione 2 gotas de NH_3 3,0 mol L^{-1}. Observe a formação de um precipitado branco (solúvel em sais de amônio).

Oxidação a permanganato com bismutato de sódio: coloque num tubo de ensaio 10 gotas de solução de Mn^{2+} 0,10 mol L^{-1}, adicione 1 gota de suspensão (0,5 g mL^{-1}) de bismutato de sódio, agite e acidifique com 2 gotas de HNO_3 6,0 mol L^{-1}. Observe a mudança para uma coloração púrpura (permanganato), que se oxida rapidamente ao ar tornando-se marrom.

Parte 6 - Reações envolvendo Cobalto (II)

Reação com NaOH: coloque em um tubo de ensaio 5 gotas de solução de Co^{2+} 0,10 mol L^{-1}, adicione 5 gotas de água e 3 gotas de NaOH 1,0 mol L^{-1}. Observe a precipitação de um sal básico azul. Neste mesmo tubo, adicione gota a gota solução de NaOH 6,0 mol L^{-1}. O sal básico é transformado em um precipitado rosa de hidróxido de cobalto (II).

Reação com NH_3: coloque em um tubo de ensaio 5 gotas de solução de Co^{2+} 0,10 mol L^{-1}, adicione 1 gota de NH_3 1,0 mol L^{-1}. Observe que ocorre a formação do sal básico azul em pequena quantidade. Neste mesmo tubo, adicione 5 gotas de NH_3 6,0 mol L^{-1} em excesso e observe que ocorre a dissolução do precipitado formando um complexo verde.

Reação com tiocianato de amônio: coloque em um tubo de ensaio 5 gotas de solução de Co^{2+}, adicione 1 gota de ácido acético 6,0 mol L^{-1} e 1 gota de solução saturada de NH_4SCN. Observe o aparecimento da coloração azul devido à formação do complexo. Neste mesmo tubo, adicione 5 gotas de álcool amílico. Observe que a cor azul interage preferencialmente com a fase orgânica.

Parte 7 - Reações envolvendo Níquel (II)

Reação com NaOH: coloque em um tubo de ensaio 5 gotas de solução de Ni^{2+} 0,10 mol L^{-1}, adicione 1 gota de NaOH 1,0 mol L^{-1}. Observe a formação de um precipitado verde.

Reação com NH_3: coloque em um tubo de ensaio 5 gotas de solução de Ni^{2+} 0,10 mol L^{-1}, adicione 1 gota de NH_3 1,0 mol L^{-1}. Observe que ocorre a formação de um complexo azul em pequena quantidade.

Reação com dimetilglioxima: coloque em um tubo de ensaio 5 gotas de solução de Ni^{2+} 0,10 mol L^{-1}, adicione 5 gotas de água, 1 gota de NH_3 1,0 mol L^{-1} e 1 gota de solução de dimetilglioxima 0,10 mol L^{-1}. Observe a formação de um precipitado com cor intensa que caracteriza a presença de níquel (II).

Estrela Verde do experimento

Parte 1 - Reações envolvendo Ferro (III)

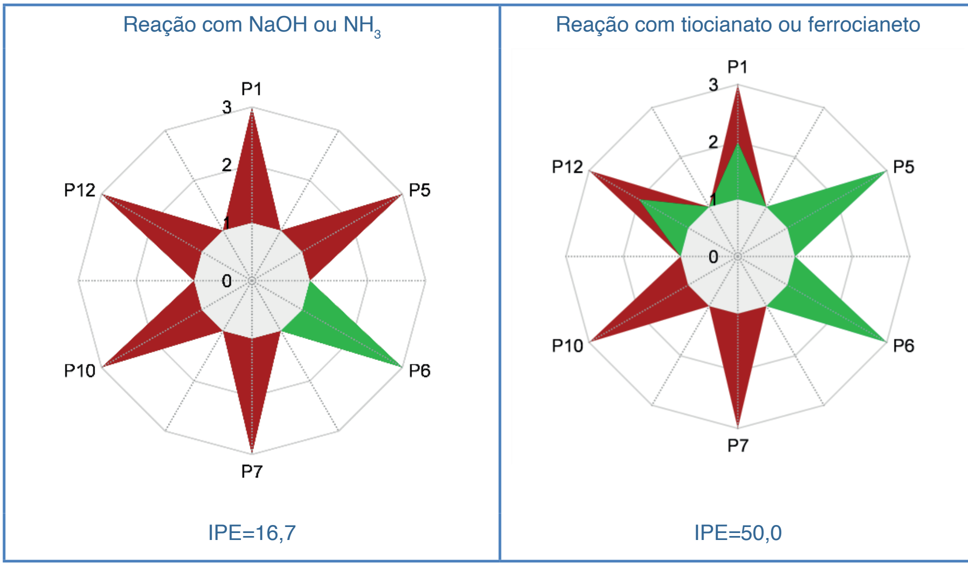


Figura 7.10 – Estrela Verde e IPE para o Experimento 7.6 - Parte 1: Reações envolvendo Ferro (III)

Fonte: dados da pesquisa.

Parte 2 - Reações envolvendo Alumínio (III)

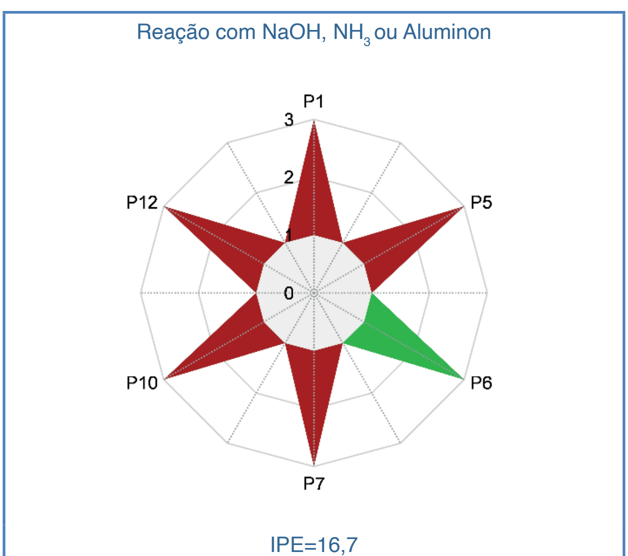


Figura 7.11 – Estrela Verde e IPE para o Experimento 7.6 - Parte 2: Reações envolvendo Alumínio (III)

Fonte: dados da pesquisa.

Parte 3 - Reações envolvendo Cromo (III)

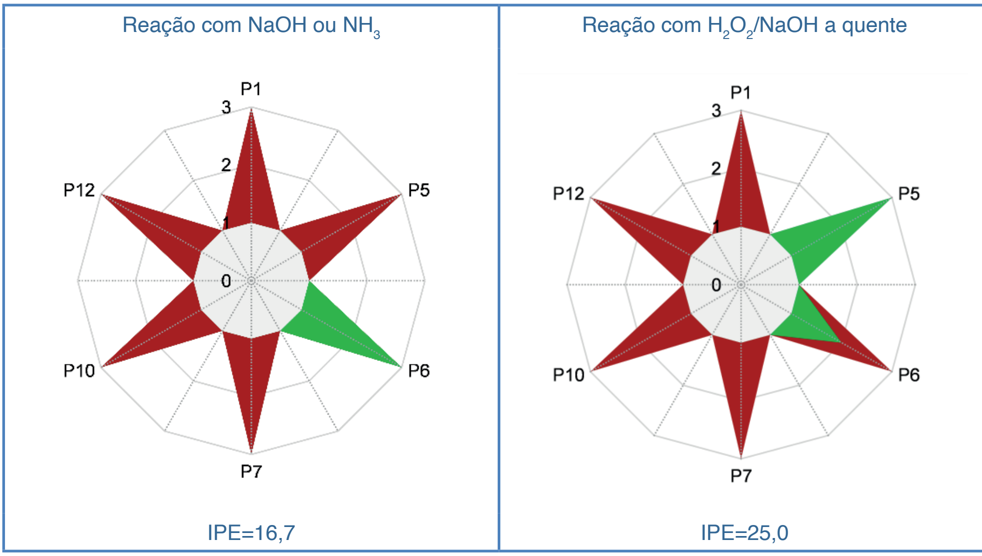


Figura 7.12 – Estrela Verde e IPE para o Experimento 7.6 - Parte 3: Reações envolvendo Cromo (III)

Fonte: dados da pesquisa.

Parte 4 - Reações envolvendo Zinco (II)

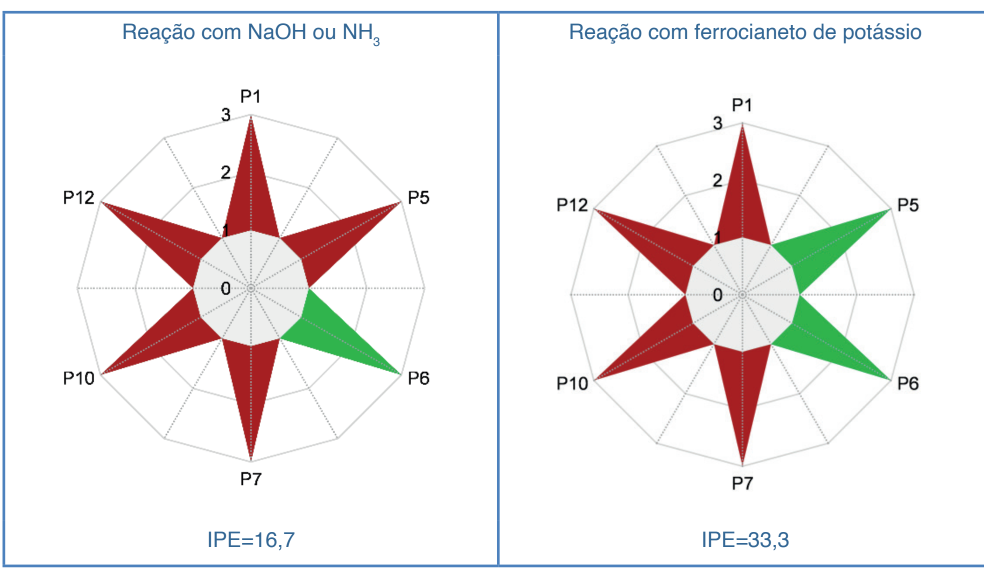


Figura 7.13 – Estrela Verde e IPE para o Experimento 7.6 - Parte 4: Reações envolvendo Zinco (III)

Fonte: dados da pesquisa.

Parte 5 - Reações envolvendo Manganês (II)

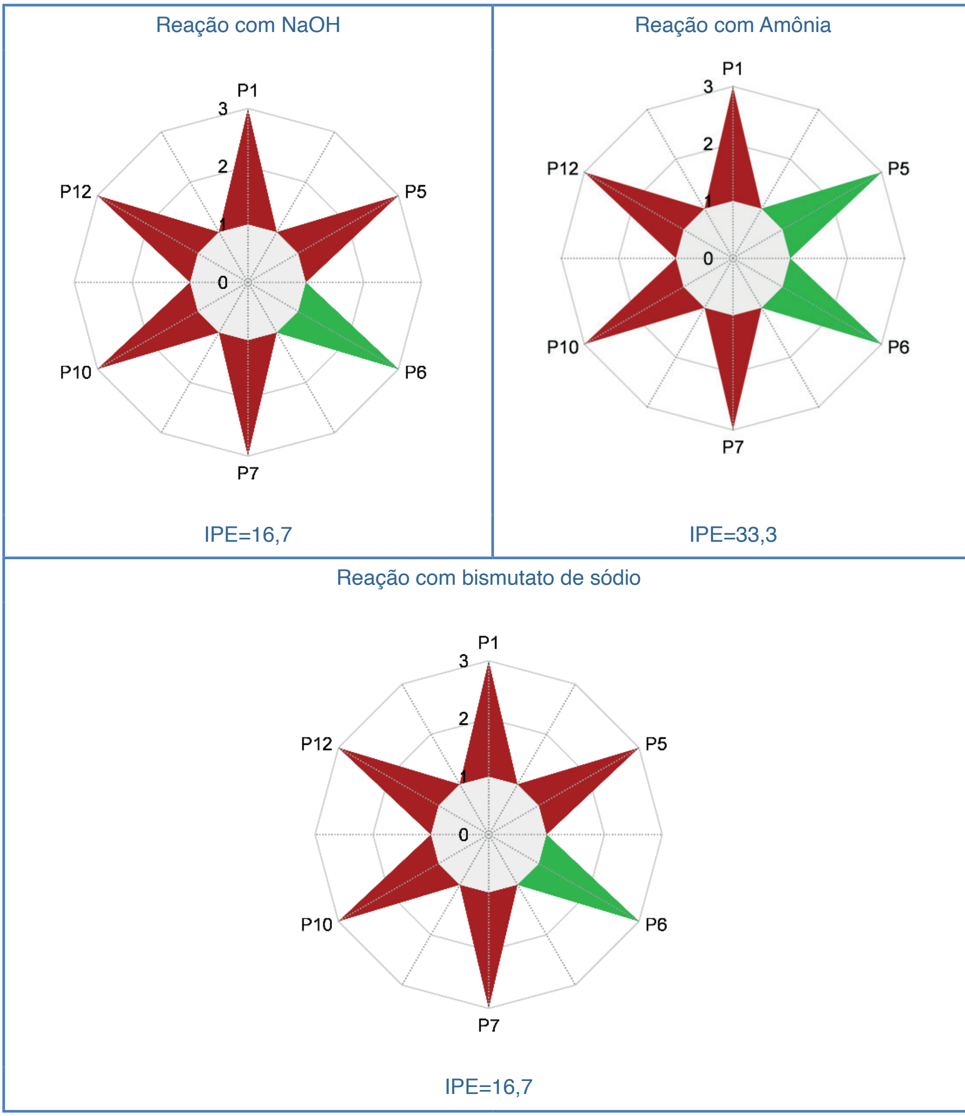


Figura 7.14 – Estrela Verde e IPE para o Experimento 7.6 - Parte 5: Reações envolvendo Manganês (II)

Fonte: dados da pesquisa.

Parte 6 - Reações envolvendo Cobalto (II)

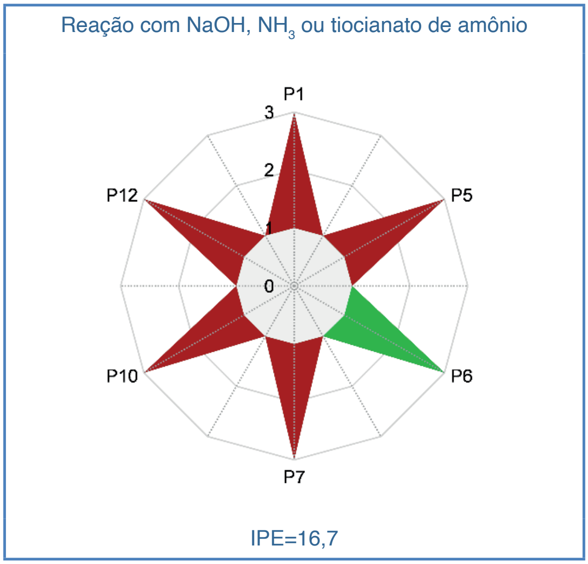


Figura 7.15 – Estrela Verde e IPE para o Experimento 7.6 - Parte 6: Reações envolvendo Cobalto (II)

Fonte: dados da pesquisa.

Parte 7 - Reações envolvendo Níquel (II)

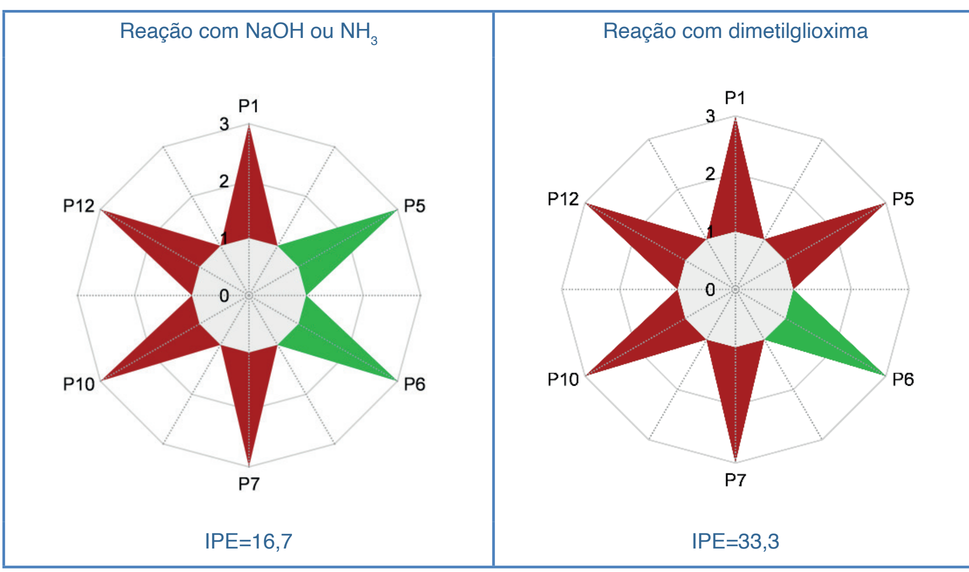


Figura 7.16 – Estrela Verde e IPE para o Experimento 7.6 - Parte 7: Reações envolvendo Níquel (II)

Fonte: dados da pesquisa.

Os procedimentos realizados nas etapas de 1 a 7 (Figura 7.10 a Figura 7.16) são destinados a fazer a separação e identificação dos cátions em soluções aquosas. Portanto, não foram considerados sínteses, pois seu intuito não era a produção das substâncias em si. Nota-se que a maioria dos procedimentos tem IPE bastante baixo, cerca de 16, em que o Princípio 6 é o único que consistentemente alcança valores máximos de verdura, já que os processos são feitos em condições moderadas de pressão e temperatura.

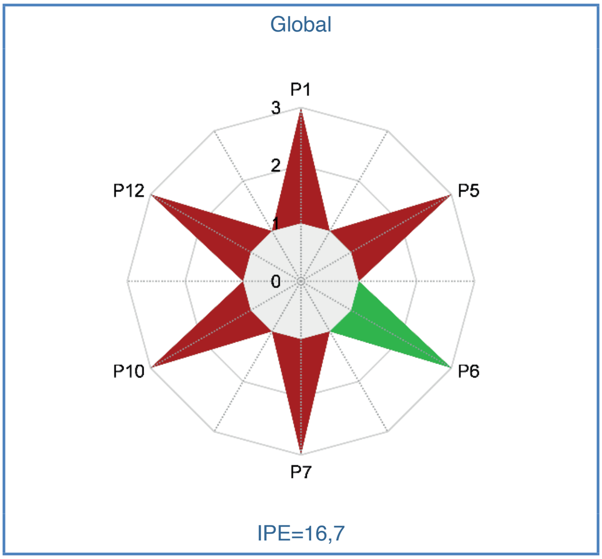


Figura 7.17 – Estrela Verde e IPE global para o Experimento 7.6

Fonte: dados da pesquisa.

Por envolver diversos reagentes que apresentam riscos, moderados ou graves, à saúde, meio ambiente e/ou físicos e reagentes não renováveis, mesmo que em pequenas quantidades, a estrela verde obtida apresentou um baixo IPE (Figura 7.17). Por se tratar de uma prática em que não há necessidade de alterações na pressão e na temperatura, o Princípio 6 recebeu pontuação máxima de verdura. Já o Princípio 10 recebeu pontuação mínima de verdura em decorrência da não possibilidade de tratamento dos resíduos para obtenção de produtos de degradação inócuos. Tais fatores levaram à obtenção de um IPE igual a 16,67.

7 I PREPARAÇÃO E PADRONIZAÇÃO DE HIDRÓXIDO DE SÓDIO E DETERMINAÇÃO DA ACIDEZ DE VINAGRES E VINHOS

Objetivos

Determinar quantitativamente ácidos e bases fortes ou fracos (respeitando-se os

limites da força), tendo como titulante um eletrólito forte.

Materiais e reagentes

- Bureta
- Béquer
- Erlenmeyer
- Balão volumétrico
- Pipeta volumétrica
- Bastão de vidro
- Proveta
- Amostras de vinagre e vinho
- Solução de hidróxido de sódio 0,10 mol L^{-1}
- Fenolftaleína
- Hidrogenoftalato de potássio
- Azul de bromotimol

Procedimento experimental

Preparação da Solução de NaOH (MM = 40,0g mol^{-1}) 0,100 mol L^{-1}. Calcule a quantidade de hidróxido de sódio necessário para preparar 200mL de solução.

Padronização da Solução de NaOH 0,10mol L^{-1} com $KHC_8H_4O_4$ (MM=204,22g mol^{-1}). Calcule e pese em erlenmeyer a massa de hidrogenoftalato de potássio previamente seco que consuma um volume aproximado de 15 mL da solução de NaOH.

Dissolva com cerca de 50 mL de água destilada, adicione 2 gotas de fenolftaleína e titule até o aparecimento da coloração rósea. Anote o volume de titulante gasto e calcule a concentração em mol L^{-1} da solução de hidróxido de sódio.

Amostra de Vinagre

Pré-Titulação da Amostra: pipete 1,0 mL de vinagre, transfira para um erlenmeyer de 125 mL, acrescente 50 mL de água destilada e 2 gotas de fenolftaleína (fazer uma titulação prévia para determinar aproximadamente a concentração do ácido acético no vinagre).

Prepare 100 mL de solução da amostra com aproximadamente a mesma concentração da solução padrão de NaOH que será utilizada (~0,10 mol L^{-1}).

Titulação da Amostra: pipete uma alíquota de 20 mL da solução da amostra, transfira para um erlenmeyer de 125 mL, adicione 25 mL de água destilada e 2 gotas de fenolftaleína.

Titule com solução padrão de NaOH até a coloração rósea permanente. Anote o volume gasto do titulante e calcule a porcentagem (%, m/v) de ácido acético (MM=60,05 g mol^{-1}) no vinagre.

Amostra de vinho

Pré-Titulação da Amostra: pipete 1,0 mL de vinho, transfira para um erlenmeyer de 125 mL, acrescente 50 mL de água destilada e 6 gotas de azul de bromotimol.

Titule com solução padrão de NaOH até a coloração azul permanente. Calcule o volume de alíquota de vinho que deve ser pipetada para consumir um volume de aproximadamente 15 mL de solução padrão de NaOH.

Titulação da Amostra: pipete o volume da alíquota calculada no item anterior,

transfira para um erlenmeyer de 125 mL, adicione 25 mL água destilada e 10 gotas de azul de bromotimol.

Titule com solução padrão de NaOH até a coloração azul permanente. Anote o volume gasto do titulante e calcule a porcentagem (%) de ácido tartárico (MM=150,09 g mol^{-1}) na amostra analisada.

Estrela Verde do experimento

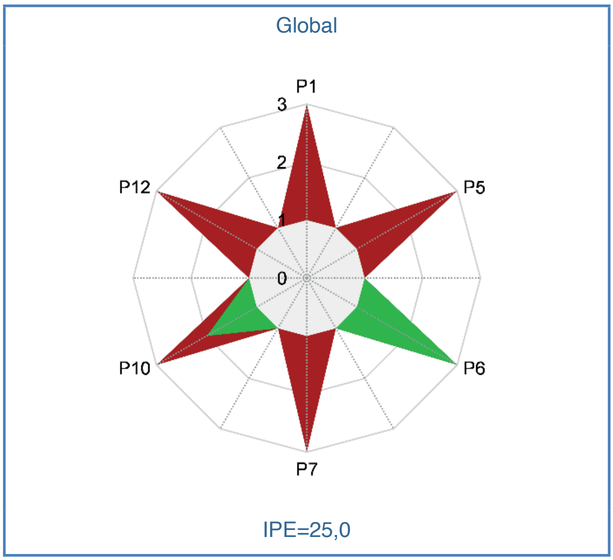


Figura 7.18 – Estrela Verde e IPE para o Experimento 7.7 —Preparação e padronização de hidróxido de sódio e determinação da acidez de vinagres e vinhos

Fonte: dados da pesquisa.

Por envolver diversos reagentes que apresentam riscos, moderados ou graves, à saúde, meio ambiente e/ou físicos e reagentes não renováveis, mesmo que em pequenas quantidades, a estrela verde obtida apresentou um baixo IPE (Figura 7.18). Os únicos Princípios que pontuaram foram o 6 e o 10, referentes à eficiência energética e a degradabilidade, respectivamente. Por se tratar de uma prática em que não há necessidade de alterações na pressão e na temperatura, o Princípio 6 recebeu pontuação máxima de verdura. Já o Princípio 10 recebeu pontuação moderada de verdura em decorrência da possibilidade de tratamento dos resíduos para obtenção de produtos de degradação inócuos. Tais fatores levaram à obtenção de um IPE igual a 25.

8 I PREPARAÇÃO E PADRONIZAÇÃO DE ÁCIDO CLORÍDRICO E DETERMINAÇÃO DO TEOR DE HIDRÓXIDO DE MAGNÉSIO NO LEITE DE MAGNÉSIA

Objetivos

Preparar e padronizar solução de ácido clorídrico. Determinar o teor de hidróxido de magnésio no leite de magnésia.

Materiais e reagentes

- Bureta
- Balão volumétrico
- Erlenmeyer
- Béquer
- Proveta
- Pipeta volumétrica
- Amostra de Leite de Magnésia
- Ácido clorídrico concentrado
- Solução padrão de hidróxido de sódio
- Carbonato de sódio
- Fenolftaleína
- Vermelho de metila

Procedimento experimental

Preparação da Solução de HCl (MM= 36,46 g mol^{-1}) 0,100 mol L^{-1}

Calcule a quantidade de ácido clorídrico necessário para preparar 100 mL de solução.

Padronização da Solução de HCl 0,100 mol L^{-1} com Na_2CO_3 (MM=105,99 g mol^{-1})

Calcule e pese em um erlenmeyer uma quantidade de Na_2CO_3 previamente seco que consuma um volume aproximado de 15 mL de HCl.

Dissolva a amostra com cerca de 50 mL de água destilada, adicione 2 gotas de fenolftaleína e titule até o descoramento da solução.

Em seguida, adicione seis gotas de vermelho de metila e continue a titulação até a primeira mudança de coloração.

Pare a titulação, ferva durante um minuto para remover o gás carbônico e continue a titulação (a quente) até a coloração vermelha. Anote o volume gasto e calcule a concentração em mol L^{-1} da solução.

Análise do Leite de Magnésia

Pese uma amostra contendo cerca de 0,5 g em um erlenmeyer. Calcule o volume aproximado da solução de HCl padrão necessário para neutralizar completamente o $Mg(OH)_2$ (a amostra contém cerca de 8,0% de $Mg(OH)_2$) e adicione um excesso de 15 mL de HCl.

Acrescente 3 gotas do indicador vermelho de metila ou fenolftaleína e titule com

solução padrão de NaOH. Calcule a porcentagem (%, m/m) de $Mg(OH)_2$ (MM = 58,31 g mol^{-1}) na amostra analisada.

Estrela Verde do experimento

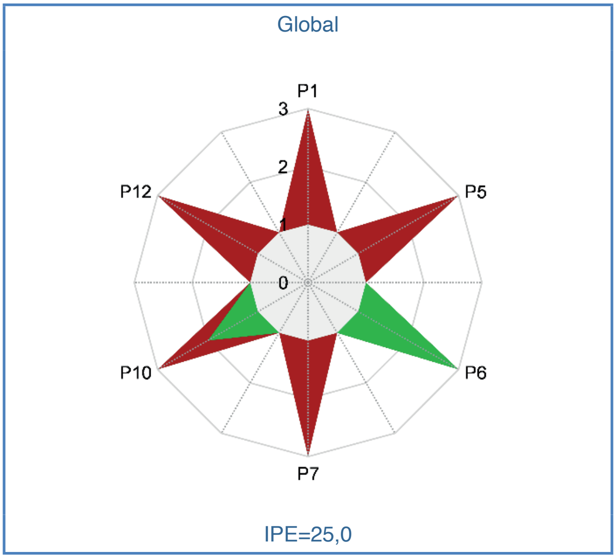


Figura 7.19 – Estrela Verde e IPE para o Experimento 7.8 - Preparação e padronização de ácido clorídrico e determinação do teor de hidróxido de magnésio no leite de magnésia

Fonte: dados da pesquisa.

Por envolver diversos reagentes que apresentam riscos, moderados ou graves, à saúde, meio ambiente e/ou físicos e reagentes não renováveis, mesmo que em pequenas quantidades, a estrela verde obtida apresentou um baixo IPE (Figura 7.19). Os únicos Princípios que pontuaram foram o 6 e o 10, referentes à eficiência energética e à degradabilidade, respectivamente. Por se tratar de uma prática em que não há necessidade de alterações na pressão e na temperatura, o Princípio 6 recebeu pontuação máxima de verdura. Já o Princípio 10 recebeu pontuação moderada de verdura em decorrência da possibilidade de tratamento dos resíduos para obtenção de produtos de degradação inócuos. Tais fatores levaram à obtenção de um IPE igual a 25.

9 I DETERMINAÇÃO DE CLORETO EMPREGANDO OS MÉTODOS DE MOHR, FAJANS E VOLHARD

Objetivos

Determinar a porcentagem de cloreto através dos métodos de Mohr, Fajans e Volhard.

Materiais e reagentes

- Bureta
- Béquer
- Erlenmeyer
- Pipeta volumétrica
- Proveta
- Balão volumétrico
- Solução padrão de nitrato de prata
- Solução padrão de tiocianato de potássio
- Solução de ácido nítrico 6 mol L^{-1}
- Solução saturada de sulfato de amônio e ferro
- Soro fisiológico
- Solução de cromato de potássio (5% m/v)
- Cloreto de sódio
- Carbonato de cálcio
- Diclorofluoresceína 0,10% (m/v)

Procedimento experimental

Preparo das soluções

Calcule a quantidade de nitrato de prata necessário para preparar 100 mL de solução $AgNO_3$ (MM=169,87 g mol^{-1}) 0,050 mol L^{-1}.

Padronização da Solução de $AgNO_3$ 0,050 mol L^{-1} com NaCl (MM=58,44g mol^{-1}) padrão: pese exatamente uma amostra de NaCl previamente seca que consuma um volume aproximado de 15,0mL de $AgNO_3$.

Dissolva a amostra com cerca de 50 mL de água destilada, adicione 1,0 mL de solução de K_2CrO_4 5% (m/v) e titule até o aparecimento do precipitado avermelhado. Anote o volume gasto.

Efetue a prova do branco. Subtraia o volume gasto na prova do branco do volume gasto na padronização. Utilize o volume corrigido para calcular a concentração molar da solução de nitrato de prata.

Prova do Branco

Adicione em um erlenmeyer 50 mL de água destilada, 1,0 mL de cromato de potássio e aproximadamente 0,25 g de $CaCO_3$.

Titule até o aparecimento da coloração idêntica à da titulação anterior (comparar as cores). Anote o volume de titulante.

Preparação e Padronização da Solução de KSCN (MM=97,18 g mol^{-1}) 0,05 mol L^{-1}: calcule e pese a massa necessária para preparar 100 mL de solução de KSCN ~ 0,05 mol L^{-1}. Dissolva em água destilada e transfira para um balão volumétrico de 100 mL.

Pipete o volume de solução padrão de $AgNO_3$ que consuma aproximadamente 15 mL da solução de KSCN e transfira para um erlenmeyer de 250 mL.

Adicione 5 mL de HNO_3 6 mol L^{-1}, 1,0 mL de solução saturada de $NH_4Fe(SO_4)_2$ (indicador) e titule com a solução de KSCN até a primeira mudança perceptível da coloração alaranjado-vermelho. Continuar a titulação até o aparecimento de uma coloração avermelhada persistente sob forte agitação.

Determine a concentração de KSCN.

Método de Mohr

Pré-Titulação da Amostra: pipete 1,0 mL da amostra, transfira para um erlenmeyer de 250 mL, acrescente 50 mL de água destilada e 1,0 mL de K_2CrO_4.

Titule com solução padrão de $AgNO_3$ até a precipitação do cromato de prata vermelho e determine a concentração aproximada de cloreto na amostra.

Calcule o volume que deve ser pipetado para consumir cerca de 15 mL de solução padrão de $AgNO_3$.

Análise da Amostra

Pipete o volume calculado no item 2.1, transfira para um erlenmeyer de 250 mL, adicione 25 mL água destilada e 1 mL de K_2CrO_4.

Titule com solução padrão de $AgNO_3$ até a precipitação do cromato de prata vermelho. Faça a prova do branco conforme item 1.3.

Usando o volume corrigido, calcule a % (m/v) de cloreto de sódio (MM= 58,45 g mol^{-1}) na amostra.

Método de Fajans

Análise da Amostra: pipete o volume calculado no item 2.1, transfira para um erlenmeyer de 250 mL, adicione 25 mL água destilada e adicione 10 gotas de diclorofluoresceína.

Titule em seguida com solução de $AgNO_3$, sob forte agitação, para se obter uma boa viragem do indicador e anote o volume gasto de titulante.

Calcule a porcentagem de cloreto de sódio na amostra.

Método de Volhard

Análise da Amostra: pipete o volume calculado no item 2.1, transfira para um erlenmeyer de 250 mL, adicione 5,0 mL de ácido nítrico 6,0 mol L^{-1} e 25 mL de água destilada.

Calcule o volume aproximado de $AgNO_3$ padrão que se deve adicionar para precipitar todo o cloreto e adicione um excesso de 15 mL.

Acrescente 1,0 mL de solução saturada de $NH_4Fe(SO_4)_2$ (indicador), titule com a solução padrão de KSCN mantendo o sistema sob forte agitação até o aparecimento de uma coloração marrom-avermelhada persistente.

Calcule a porcentagem (m/v) de cloreto de sódio na amostra.

Estrela Verde do experimento

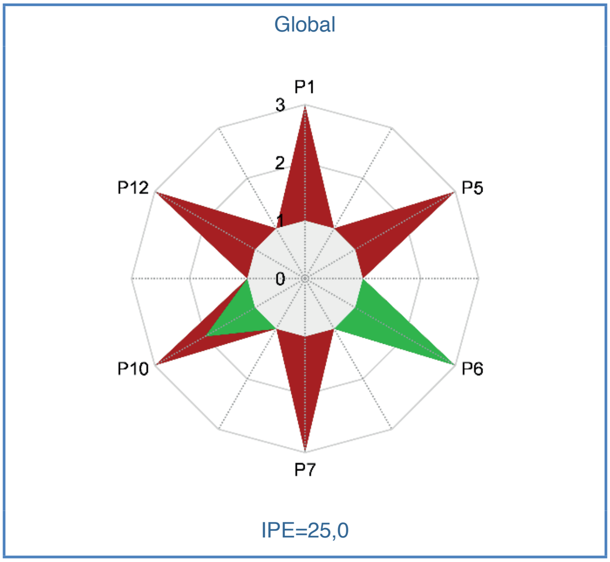


Figura 7.20 – Estrela Verde e IPE para o Experimento 7.9 - Determinação de cloreto empregando os métodos de Mohr, Fajans e Volhard

Fonte: dados da pesquisa.

Por envolver diversos reagentes que apresentam riscos, moderados ou graves, à saúde, meio ambiente e/ou físicos e reagentes não renováveis, mesmo que em pequenas quantidades, a estrela verde obtida apresentou um baixo IPE (Figura 7.20). Os únicos Princípios que pontuaram foram o 6 e o 10, referentes à eficiência energética e a degradabilidade, respectivamente. Por se tratar de uma prática em que não há necessidade de alterações na pressão e na temperatura, o Princípio 6 recebeu pontuação máxima de verdura. Já o Princípio 10 recebeu pontuação moderada de verdura em decorrência da possibilidade de tratamento dos resíduos para obtenção de produtos de degradação inócuos. Tais fatores levaram à obtenção de um IPE igual a 25.

10 I DETERMINAÇÃO DE CÁLCIO (II) EM LEITES E MAGNÉSIO (II) EM PRODUTOS FARMACÊUTICOS

Objetivos

Determinar o teor de Cálcio (II) e Magnésio (II) em leites e produtos farmacêuticos, respectivamente.

Materiais e reagentes

- Balança analítica
- Béquer
- Chapa elétrica
- Dessecador
- Termômetro
- Balão volumétrico
- Erlenmeyer
- Bureta
- Proveta
- Pipeta volumétrica
- Solução tampão de amônio pH=10, 0,1 mol L^{-1}
- Carbonato de cálcio
- Solução de EDTA 0,02 mol L^{-1}
- Cloreto de magnésio hexahidratado
- Amostra de leite
- Solução de ácido clorídrico 0,1 mol L^{-1}
- Amostra de leite de magnésia
- Solução de ErioT (0,5 g em 100 mL de etanol)

Procedimento experimental

Tampão de amônio pH 10

Calcule e pese a massa de NH_4Cl (MM=53,49 g mol^{-1}) e o volume de NH_3 concentrado necessário para preparar 100 mL de uma solução tampão de amônio pH=10 na concentração 0,10 mol L^{-1}.

Solução de Ério T

Prepare uma solução 0,5% (m/v) de negro de eriocromo T em etanol. A solução de indicador deve ser preparada recentemente, pois é instável.

Solução de EDTA 0,02 mol L^{-1}

Calcule e pese uma massa do sal $Na_2H_2Y.2H_2O$ (MM=372,24 g mol^{-1}) necessária para preparar 100 mL de uma solução 0,02 mol L^{-1}.

Dissolva com água destilada contendo 0,005g de $MgCl_2.6H_2O$, agite até a dissolução total do sal e complete o volume num balão volumétrico de 100 mL.

Padronização da solução de EDTA 0,02 mol L^{-1}

Pese 180 mg de $CaCO_3$p.a. previamente dessecado e dissolva num béquer utilizando a mínima quantidade de solução de HCl 1:1.

Evapore até quase a secura, redissolva em água destilada e transfira para um balão volumétrico de 100 mL.

Pipete uma alíquota de 20 mL desta solução, transfira para um erlenmeyer de 250 mL, acrescente 10 mL de tampão de amônio, 4 a 6 gotas de negro de eriocromo T e titule com a solução de EDTA. Determine a concentração exata da solução de EDTA.

Análise de Leite

Pré-titulação da amostra: pipete 1,0 mL da amostra, transfira para um erlenmeyer de 250 mL, acrescente 25 mL de água destilada, 2 mL de tampão amônio, 3 a 4 gotas de Erio

T e titule com a solução de EDTA padrão.

Determine a concentração aproximada de cálcio (II) no leite.

Calcule o volume de amostra que deve ser pipetado para consumir cerca de 15 mL de solução padrão de EDTA.

Análise da amostra: pipete o volume da amostra calculado a partir do item 5.1 e titule conforme o procedimento do item 4. Determine o teor de Ca (II) em 200 mL de leite.

Análise de Leite de Magnésia

Pese uma amostra contendo cerca de 0,2 a 0,3 g (precisão de 0,1 mg) em um erlenmeyer.

Adicione 10 mL de HCl 0,10 mol L^{-1} para dissolver a amostra (suspensão). Acrescente 15 mL de tampão NH_3/NH_4^+.

Aqueça a solução a cerca de 60°C.

Adicione 3 a 4 gotas de indicador Erio-T e titule, ainda quente, com solução padrão de EDTA até a mudança de coloração da solução.

Determine a porcentagem (m/v) de Mg (II) na amostra.

Estrela Verde do experimento

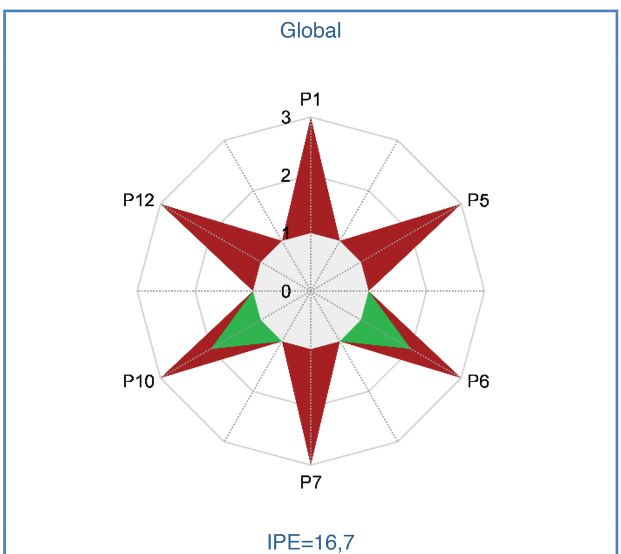


Figura 7.21 – Estrela Verde e IPE para o Experimento 7.10 - Determinação de cálcio (II) em leites e magnésio (II) em produtos farmacêuticos

Fonte: dados da pesquisa.

Por envolver diversos reagentes que apresentam riscos, moderados ou graves, à

saúde, meio ambiente e/ou físicos e reagentes não renováveis, mesmo que em pequenas quantidades, a estrela verde obtida apresentou um baixo IPE (Figura 7.21). Os únicos Princípios que pontuaram foram o 6 e o 10, referentes à eficiência energética e à degradabilidade, respectivamente. Por se tratar de uma prática em que não há necessidade de alterações na pressão, porém há necessidade de mudanças na temperatura, o Princípio 6 recebeu pontuação moderada de verdura. O Princípio 10 também recebeu pontuação moderada de verdura em decorrência da possibilidade de tratamento dos resíduos para obtenção de produtos de degradação inócuos. Tais fatores levaram à obtenção de um IPE igual a 16,67.

11 I DETERMINAÇÃO DE PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO EM ÁGUA OXIGENADA COMERCIAL

Objetivos

Determinar a porcentagem (%) de H_2O_2 da água oxigenada comercial.

Materiais e reagentes

- Bureta
- Béquer
- Proveta
- Erlenmeyer
- Pipeta volumétrica
- Vidro de relógio
- Chapa elétrica
- Balão volumétrico
- Bastão de vidro
- Água oxigenada
- Oxalato de sódio
- Solução de ácido sulfúrico 1,0 mol L^{-1}
- Solução de permanganato de potássio 0,02mol L^{-1}

Procedimento experimental

Preparação da Solução de $KMnO_4$ 0,02 mol L^{-1} (MM = 158,04 g mol^{-1})

Calcule e pese, em um béquer, a massa necessária para preparar 100 mL de $KMnO_4$ ~0,02 mol L^{-1}.

Adicione 80 mL de água, cubra com um vidro de relógio, aqueça a solução até a ebulição e ferva moderadamente durante 10 minutos.

Após esfriar, transfira para um balão volumétrico, complete o volume e armazene em um frasco escuro.

Preparação de Solução de H_2SO_4 1,0 mol L^{-1} (MM = 98,08 g mol^{-1}; 95-98%; d=1,84 g mL^{-1})

Calcule e pipete o volume necessário para preparar 100 mL de H_2SO_4 1,0 mol L^{-1}.

Padronização da Solução de $KMnO_4$ 0,02 mol L^{-1}

Calcule a massa de oxalato de sódio (MM = 134 g mol^{-1}) que consuma aproximadamente 15 mL de solução de $KMnO_4$.

Pese exatamente a massa de oxalato de sódio em um erlenmeyer de 125 mL,

adicione aproximadamente 30 mL de água destilada e 20 mL de H_2SO_4 1,0 mol L^{-1}.

Dissolva bem todos os solutos e aqueça a solução próximo a 80°C, tomando o cuidado de não ultrapassar essa temperatura para evitar a decomposição do oxalato.

Titule rapidamente a quente com solução de permanganato de potássio. O ponto final da titulação é alcançado com pequeno excesso da solução titulante, visualizado pelo aparecimento de uma coloração violeta clara (rósea) permanente.

Pré-titulação

Pipete 1,0 mL de amostra, transfira para um erlenmeyer de 250 mL, adicione aproximadamente 25 mL de água destilada e 5,0 mL de H_2SO_4 1,0 mol L^{-1}.

Inicie a titulação com a solução padrão de permanganato lentamente, até o aparecimento de uma coloração violeta clara (a reação é lenta no início da titulação).

Calcule a concentração molar aproximada do peróxido de hidrogênio na amostra de água oxigenada.

Calcule o volume de água oxigenada necessário para preparar 100 mL de amostra.

Calcule o volume da amostra (alíquota) que viabilize a titulação e consuma 15 mL de permanganato de potássio.

Análise da Amostra

Transfira para um erlenmeyer de 250 mL uma alíquota (calculada no item 4) da amostra de água oxigenada, adicione aproximadamente 30 mL de água destilada e 20 mL de H_2SO_4 1,0 mol L^{-1}.

Titulação com a solução padrão de permanganato, lentamente, até o aparecimento de uma coloração violeta clara.

Anote o volume gasto do titulante e calcule a porcentagem (%) de H_2O_2 no frasco de água oxigenada.

Estrela Verde do experimento

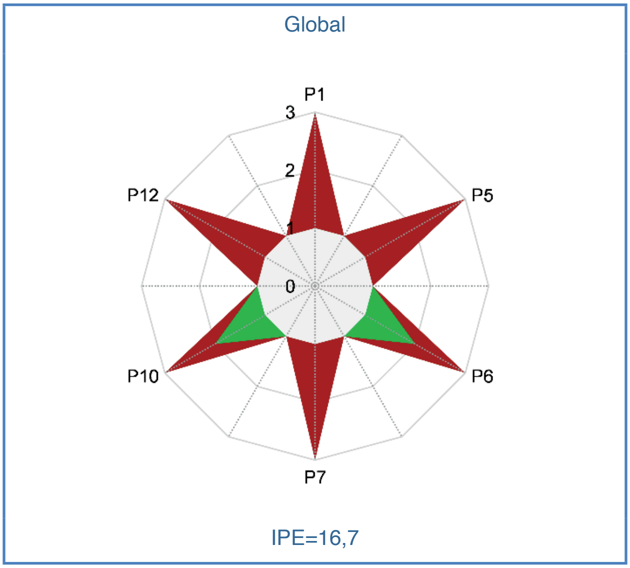


Figura 7.22 – Estrela Verde e IPE para o Experimento 7.11 - Determinação de peróxido de hidrogênio em água oxigenada comercial

Fonte: dados da pesquisa.

Por envolver diversos reagentes que apresentam riscos, moderados ou graves, à saúde, meio ambiente e/ou físicos e reagentes não renováveis, mesmo que em pequenas quantidades, a estrela verde obtida apresentou um baixo IPE (Figura 7.22). Os Princípios que pontuaram foram o 6 e o 10, referentes à eficiência energética e a degradabilidade, respectivamente. Por se fazer necessário, o aquecimento na etapa de padronização do $KMnO_4$, porém não necessitando de alterações de pressão, o Princípio 6 recebeu pontuação máxima de verdura. Já o Princípio 10 recebeu pontuação moderada de verdura em decorrência da possibilidade de tratamento dos resíduos para obtenção de produtos de degradação inócuos. Tais fatores levaram à obtenção de um IPE igual a 16,67.

12 I DETERMINAÇÃO DE ÁCIDO ASCÓRBICO EM COMPRIMIDOS DE VITAMINA C

Objetivos

Determinação da quantidade em miligramas de vitamina C por comprimido empregando como metodologia de análise da volumetria de óxido-redução.

Materiais e reagentes

- Béquer
- Erlenmeyer
- Pipeta volumétrica
- Proveta
- Bureta
- Balão volumétrico
- Balança analítica
- Chapa elétrica
- Comprimido de vitamina C
- Solução de ácido clorídrico 1,0 mol L^{-1}
- Suspensão de amido
- Ácido bórico
- Iodato de potássio
- Iodeto de potássio
- Solução de tiossulfato de Sódio 0,04 mol L^{-1}
- Solução de iodo 0,02 mol L^{-1}

Procedimento experimental

Preparação da Solução de I_2 (MM=253,80 g mol^{-1}) 0,02 mol L^{-1}

Calcule a massa necessária para preparar 100 mL de uma solução de iodo ~0,02 mol L^{-1}. Pese o iodo e no mesmo béquer pese 1,0 g de iodeto de potássio.

Adicione uma pequena quantidade de água e agite cuidadosamente para dissolver o iodo.

Transfira para um balão de 100 mL e complete o volume e estocar em frasco escuro.

Preparação da Solução de $Na_2S_2O_3.5H_2O$ (MM=248,19 g mol^{-1}) 0,04 mol L^{-1}

Calcular a massa necessária para preparar 100 mL de tiossulfato de sódio 0,04 mol L^{-1}.

Solução de Amido (Indicador)

Faça uma pasta com 2 g de amido e 25 mL de água, transfira sob agitação para um béquer contendo 250 mL de água fervendo.

Ferva por mais dois minutos, adicione 1,0 g de ácido bórico e deixe resfriar. Guarde em frasco bem fechado.

Padronização da Solução de $Na_2S_2O_3$ 0,04 mol L^{-1}

Pese aproximadamente 0,03 g de KIO_3 previamente dessecado entre 150 e 180°C durante cerca de 1 hora.

Transfira para um erlenmeyer de 250 mL e dissolva em 25 mL de água destilada.

Adicione 1,0 g de KI e, após a dissolução, 10 mL de HCl 1,0 mol L^{-1}.

Titule imediatamente com solução de $Na_2S_2O_3$ até que a cor da solução se torne amarela muito fraca.

Adicione 5 gotas de suspensão de amido e prossiga a titulação até o desaparecimento da cor azul.

Padronização da Solução de I_2 0,02 mol L^{-1}

Pipete 15 mL da solução de iodo e transfira para um erlenmeyer de 250 mL.

Titule com solução padrão de $Na_2S_2O_3$ até a cor da solução se tornar levemente amarelada.

Adicione 10 gotas de solução de amido e prossiga a titulação até o desaparecimento da cor azul. Calcule a concentração molar da solução de iodo.

Preparação da amostra

Pese a massa equivalente a um comprimido de vitamina C, dissolva em água destilada e transfira para um balão volumétrico de 200 mL.

Pré-titulação (Método Direto)

Pipete uma alíquota de 1,0 mL da solução da amostra, transfira para um erlenmeyer de 125 mL, adicione 20 mL de água destilada e 5 gotas de solução de amido.

Titule rapidamente com solução padrão de iodo até o aparecimento da cor azul e calcule a concentração aproximada de ácido ascórbico na solução da amostra.

Análise da Vitamina C (Método Direto)

Calcule e pipete uma alíquota da solução da amostra de vitamina C preparada no item (6) que consuma cerca de 15 mL de solução padrão.

Adicione 1,0 mL de amido e titule com a solução padronizada de iodo. Calcule a quantidade de vitamina C no comprimido.

Análise da Vitamina C (Titulação de Retorno)

Pipete uma alíquota de 5,0 mL da solução da amostra de vitamina C preparada na parte 6 e transfira para um erlenmeyer de 250 mL.

Calcule o volume da solução de I_2 necessário a ser adicionado para reagir completamente com o ácido ascórbico da alíquota e adicione um excesso de 15 mL.

Titule o excesso de iodo com solução padrão de tiossulfato de sódio até a cor da solução se tornar levemente amarelada.

Adicione 10 gotas de suspensão de amido e prossiga a titulação até o desaparecimento da cor azul.

Calcule a quantidade de vitamina C no comprimido. Compare o resultado com o da análise efetuada usando a titulação pelo método direto.

Estrela Verde do experimento

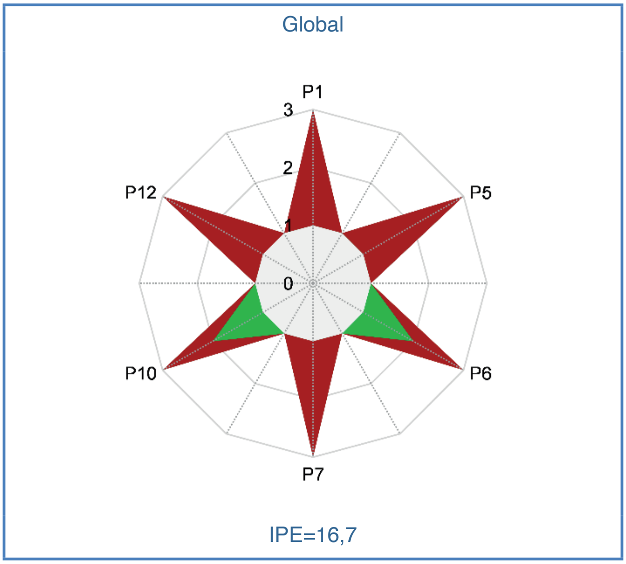


Figura 7.23 – Estrela Verde e IPE para o Experimento 7.12 - Determinação de ácido ascórbico em comprimidos de vitamina C

Fonte: dados da pesquisa.

Por envolver diversos reagentes que apresentam riscos, moderados ou graves, à saúde, meio ambiente e/ou físicos e reagentes não renováveis, mesmo que em pequenas quantidades, a estrela verde obtida apresentou um baixo IPE (Figura 7.23). Os únicos Princípios que pontuaram foram o 6 e o 10, referentes à eficiência energética e à degradabilidade, respectivamente. Por se tratar de uma prática em que não há necessidade de alterações na pressão e necessidade de alterações na temperatura, o Princípio 6 recebeu pontuação moderada de verdura. Já o Princípio 10 recebeu pontuação moderada de verdura em decorrência da possibilidade de tratamento dos resíduos para obtenção de produtos de degradação inócuos. Tais fatores levaram à obtenção de um IPE igual a 16,67.

13 I DETERMINAÇÃO GRAVIMÉTRICA DE FERRO (II) EM SULFATO DE AMÔNIO E FERRO (II)

Objetivos

Determinação do teor de ferro em uma amostra sulfato de ferro (II) e amônio empregando como metodologia a análise gravimétrica.

Materiais e reagentes

- Balança analítica
- Béquer
- Chapa elétrica
- Funil de colo longo
- Papel de filtro
- Vidro relógio
- Proveta
- Cadinho de porcelana
- Mufla
- Dessecador
- Termômetro
- Bastão de vidro
- Papel tornassol
- Sulfato de amônio e ferro (II) hexahidratado
- Ácido clorídrico concentrado
- Água oxigenada
- Solução de hidróxido de amônio
- Solução de nitrato de amônio 1% (m/v)
- Solução de nitrato de prata 0,01 mol L^{-1}

Procedimento experimental

Pese 0,100 g de sulfato de amônio e ferro (II) hexahidratado (MM=392,14 g mol^{-1};) e transfira para um béquer de 250 mL provido de bastão de vidro e vidro de relógio. Adicione 50 mL de água destilada, 2,0 mL de HCl 1:1 e 2,0 mL de H_2O_2 3% (v/v), respectivamente. Aqueça a solução a cerca de 70°C, adicione 6 mL de uma solução de NH_4NO_3 (0,5 g/mL) e leve o sistema até quase a ebulição. Adicione lentamente, e sob agitação, cerca de 8 mL de NH_3 (1:3) ou um volume suficiente para se ter um excesso de base, verificando com papel tornassol. Ferva a mistura por um minuto e, em seguida, deixe sedimentar o precipitado. Filtre as soluções ainda quentes, transferindo para o filtro, inicialmente o sobrenadante e, finalmente, o precipitado.

Lave o béquer e o precipitado com pequenas porções de uma solução quente de NH_4NO_3 a 1% (m/v) contendo algumas gotas de uma solução de NH_3 (1:3), para garantir que a solução de lavagem esteja alcalina. Use cerca de 200 mL de solução de lavagem. Considere o precipitado bem lavado, quando o filtrado não der prova positiva de cloreto. Realize o teste com solução de nitrato de prata.

Transfira o papel de filtro com precipitado para um cadinho de porcelana previamente aferido e calcine o precipitado em mufla, inicialmente com a porta ligeiramente aberta para queimar o papel-filtro sob boas condições oxidantes e, após atingir 600°C, com a porta fechada.

Deixe o forno atingir a temperatura de 1000°C e deixe calcinar o sistema cadinho-precipitado nessa temperatura por 30 minutos. Decorrido esse tempo, retire o cadinho do forno, deixe resfriar em dessecador por uma hora e, em seguida, pese. Pela diferença entre a pesagem do cadinho com o calcinado e vazio tem-se a massa de Fe_2O_3. Calcule a porcentagem de ferro (II) (MM = 55,85 g mol^{-1}) e a pureza da amostra a partir da massa de Fe_2O_3 obtida.

Estrela Verde do experimento

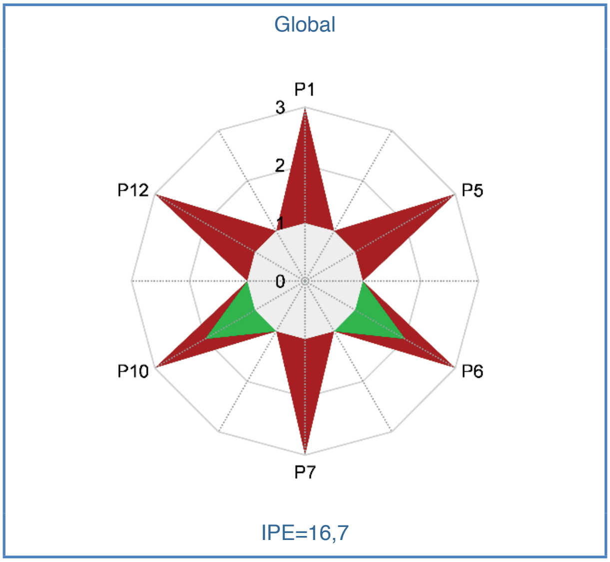


Figura 7.24 – Estrela Verde e IPE para o Experimento 7.13 - Determinação gravimétrica de ferro (II) em sulfato de amônio e ferro (II)

Fonte: dados da pesquisa.

Por envolver diversos reagentes que apresentam riscos, moderados ou graves, à saúde, meio ambiente e/ou físicos e reagentes não renováveis, mesmo que em pequenas quantidades, a estrela verde obtida apresentou um baixo IPE (Figura 7.24). Sendo assim, os únicos Princípios que pontuaram foram o 6 e o 10, referentes à eficiência energética e à degradabilidade, respectivamente. Por ser necessário aquecimento, o Princípio 6 recebeu pontuação moderada de verdura, uma vez que a pressão foi mantida ambiente e a temperatura variou entre 0 e 100°C. O Princípio 10 recebeu pontuação moderada de verdura em decorrência da possibilidade de tratamento dos resíduos para obtenção de produtos de degradação inócuos. Tais fatores levaram à obtenção de um IPE igual a 16,67.

14 I CONSIDERAÇÕES FINAIS

Todas as EV das atividades experimentais da disciplina de Química Analítica obtiveram IPE abaixo de 25, conforme Figura 7.25. Isso se deve ao fato de que as práticas oferecidas na disciplina envolvem um número elevado de substâncias e, dentre estas, sais de metais pesados, solventes orgânicos e indicadores que, consequentemente, apresentam maiores riscos à saúde, ambiente e perigos físicos.

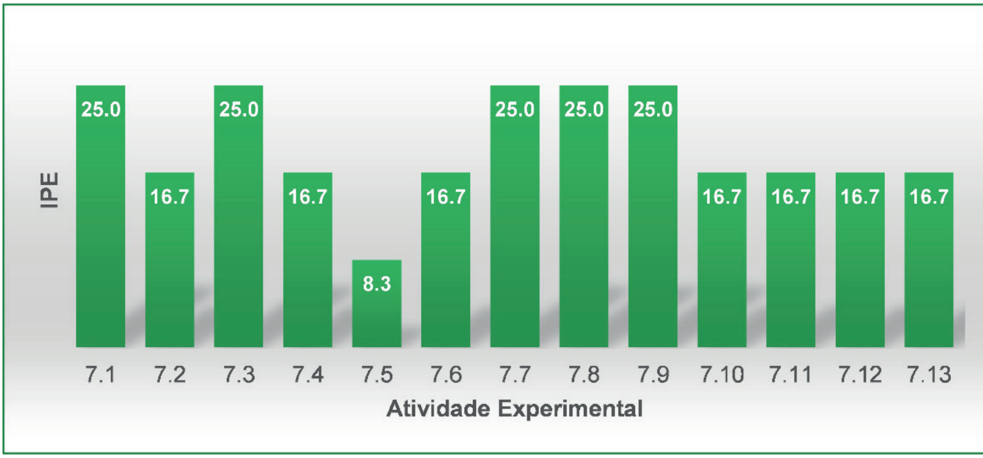


Figura 7.25 – Avaliação da verdura química global de atividades experimentais da disciplina de Química Analítica Experimental I

Fonte: dados da pesquisa.

Ao analisar as estrelas obtidas, observou-se que os únicos Princípios que tiveram algum valor de verdura química foram o P6 e P10, referentes à eficiência energética e à degradabilidade, respectivamente, sendo que as pontuações desses Princípios variam de uma prática para outra. Essas diferenças decorrem do fato de que algumas práticas (7.5, 7.10, 7.11, 7.12 e 7.13) requerem o aquecimento das soluções, o que leva à atribuição de verdura química moderada no P6. Todas as demais práticas são realizadas em pressão e temperatura ambientes e a essas atividades foi atribuída a pontuação máxima. Em relação ao P10, na maioria das práticas (7.1, 7.3, 7.7, 7.8, 7.9, 7.10, 7.11, 7.12 e 7.13) as substâncias envolvidas podem ser tratadas para obter sua degradação com produtos de degradação inócuos, logo atribuiu-se a pontuação moderada a estas.

Nas demais práticas, os resíduos também passam por tratamento. Os sais de metais pesados, como chumbo e cromo, são precitados das soluções. O sobrenadante descartado em lixo comum (descarte diretamente na pia) e o precipitado contendo os metais são encaminhados a um aterro industrial. Por falta de conhecimento dos procedimentos adotados por tal empresa e a falta de informação nas fichas de segurança, atribuiu-se a pontuação mínima de verdura química para os P10 nas demais práticas. Aos demais Princípios, em todas as atividades experimentais, a pontuação mínima foi atribuída devido à alta periculosidade das substâncias e processos.

Os baixos valores de IPE nessa disciplina também foram influenciados por dificuldades em encontrar informações nas FISPQ ou por limitações da própria métrica, a EV. A falta de informação nas FISPQ acerca da degradabilidade e renovabilidade das substâncias pode ter diminuído o valor dos IPE. Nem sempre essas informações são encontradas, sendo necessária a busca em outras fontes ou a atribuição da pontuação

mínima de verdura química em consequência da falta de informações. Muitos solventes e substâncias auxiliares são utilizados em concentrações diferentes daquelas registradas nas FISPQ. Por exemplo, na prática 02 desta disciplina se utiliza ácido clorídrico 3,0 mol L^{-1}, mas foram encontradas na FISPQ informações para uma solução de aproximadamente 10 mol L^{-1}. Tal fato também reflete na obtenção de baixos IPE.

Ao construir uma EV, não são levadas em consideração a quantidade de solvente e/ou substâncias envolvidas, nem a quantidade de resíduos gerados. Ao procurar os profissionais responsáveis pela disciplina para esclarecerem sobre o destino e tratamento de resíduos nas apostilas, obteve-se informação de que, em algumas das práticas, os resíduos não degradáveis e altamente perigosos geralmente foram utilizados em pequena quantidade, como é o caso da fenolftaleína e alguns ácidos que apresentam alta periculosidade à saúde.

Outro fator que cabe aqui ressaltar é a falta de informações nos roteiros experimentais. Na disciplina de Química Analítica Experimental I, nenhum roteiro traz informações sobre isso, ainda que em que todas as práticas os resíduos gerados passem por algum tratamento, que pode ser realizado por técnicos da UFSC ou destinado a aterros industriais por uma empresa terceirizada. A importância do conhecimento do destino final das substâncias envolvidas nas práticas realizadas pelos futuros químicos é essencial para sua formação e tal conhecimento é, na maioria das vezes, inexistente.

Cabe ressaltar que muitas disciplinas experimentais apresentam uma carga horária que torna inviável o tratamento dos resíduos pelos alunos, porém, mesmo que o tratamento não seja feito por eles, é de suma importância que saibam que tal tratamento é possível, existe e, porventura, poderia ser desnecessário com adoção de práticas verdes. Tendo em vista tal pensamento, a inserção da métrica Estrela Verde aos roteiros experimentais se mostra eficiente para a construção da cultura ambiental, uma vez que esta pode ser construída sem a realização do experimento, logo pode ser inserida em atividades de pré e pós-laboratório, sem demandar tempo da aula experimental.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O propósito principal de organizar e oferecer um e-book com a aplicação da métrica holística Estrela Verde (EV) em atividades experimentais desenvolvidas em laboratório de ensino (LabEns) de um curso de graduação em Química, no caso da Universidade Federal de Santa Catarina, foi o de demonstrar possibilidades pedagógicas para discutir aspectos e cuidados ambientais na formação do químico.

Foram metrificados 40 roteiros experimentais de quatro áreas clássicas da Química, que envolveram 16 reações de sínteses e outros 31 procedimentos experimentais sem envolver síntese. A avaliação da verdura química de cada uma não teve o intuito de perseguir uma crítica ambiental para reprová-las enquanto atividades de ensino ou quanto à prática de laboratorial. Essas atividades foram tomadas como exemplares visando demonstrar a possibilidade de metrificação holística-ambiental.

Nesse sentido, há que se ressaltar alguns aspectos. Eventuais diferenças de proposituras de atividades práticas entre as quatro áreas (disciplinas) mostram apenas uma não padronização das apostilas adotadas no Curso, a exemplo de discussões envolvendo o tratamento de resíduos. Algumas atividades continham esse tema, propostas de tratamento e alertas importantes quanto a esse aspecto. Obviamente é salutar que se avance nesse aspecto, pois o tratamento de resíduos e a segurança de laboratório de ensino são aspectos formativos fundamentais ao químico.

Há que se ressaltar que, no caso da Universidade em questão, em todos os laboratórios há um técnico ou uma empresa especializada que trata os resíduos das reações das atividades do laboratório de ensino.

Outra questão diz respeito à natureza e propósito dos experimentos nos LabEns que são escolhidos para serem rápidos, terem poucas etapas, alto rendimento e poucas derivações e, assim, adequarem-se ao tempo de aula e aos objetivos pedagógicos previamente definidos no Projeto Pedagógico do Curso. Isso tudo traz implicação das atividades pedagógicas na verdura das sínteses, isto é, esses e outros aspectos acabam influenciando para que as atividades de síntese tenham, em várias situações, uma verdura química com IPE mais alto (mais verdes) que aquelas sem síntese. Todavia, isso funcionou bem ao nosso propósito ilustrativo, pois acabou revelando impacto na verdura química das etapas de isolamento e purificação nas reações sem síntese e o “alerta” para eventual cálculo da verdura global dos sistemas que envolvem sínteses.

Assim, das análises e discussões empreendidas quanto ao uso da EV e seus resultados, é possível afirmar que:

- A métrica holística EV é um poderoso instrumento pedagógico para realçar os aspectos ambientais envolvidos nas reações químicas empreendidas nos laboratórios de ensino.
- A EV possibilita desde o planejamento de atividades laboratoriais de ensino,

nas várias disciplinas que compõem as áreas da química, até o pós-laboratório, desenvolvendo análises de metrificação da verdura química.

- Um instrumento importante para que os alunos possam avaliar o design de substâncias e o planejamento de rotas sintéticas.

Por fim, queremos ressaltar que os resultados da aplicação da EV às análises de verdura química mostram que em muitas das atividades experimentais é possível (e necessário) aplicar melhorias quanto aos aspectos ambientais, por exemplo, propor ou solicitar aos alunos alternativas de sínteses menos poluentes ou a troca de reagentes ou auxiliares nas reações, bem como modificações nos experimentos ou a substituição do método. Enfim, problematizar o que pode ser feito para superar a baixa verdura das reações realizadas em atividades de laboratório de ensino (mas não só). Incentivar a procura na literatura por alternativas mais verdes é um bom e duplo propósito: solucionar um problema e aproximar os alunos com a cultura da pesquisa científica inovadora – como no caso da Química Verde. Já há na literatura opções de práticas mais verdes, como microescala, guia de escolhas de solventes, processos com menos etapas, com catalisadores etc.

Estamos certos de que a EV é uma ferramenta importante, pois é útil e eficiente em apontar quais os caminhos em que os procedimentos podem ser modificados ou melhorados.

Façam bom uso dela e deste e-book.[1]

Muito obrigado pela leitura.

1 Caso tenha sugestões ou dúvidas, envie-as para quimidex.visita@gmail.com.

REFERÊNCIAS

ANASTAS, P. T. Green Chemistry and the Role of Analytical Methodology Development. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, v. 29, n. 3, p. 167–175, set. 1999. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10408349891199356>. Acesso em: 6 jul. 2018.

ANASTAS, P. T.; EGHBALI, N. Green chemistry: principles and practice. *Chemical Society Reviews*, v. 39, n. 1, p. 301–312, jan. 2010.

ANASTAS, P. T.; WARNER, J. C. *Green Chemistry: Theory and Practice*. New York, N.Y: Oxford University Press, 1998.

ANASTAS, P. T.; WILLIAMSON, T. C. Green Chemistry: An Overview. *In*: ANASTAS, P. T.; WILLIAMSON, T. C. (Org.). *Green Chemistry: Designing Chemistry for the Environment*. Washington, DC: American Chemical Society, 1996. v. 626. p. 1–17. Disponível em: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/bk-1996-0626.ch001>. Acesso em: 25 mar. 2018.

ANDRAOS, J. On Using Tree Analysis to Quantify the Material, Input Energy, and Cost Throughput Efficiencies of Simple and Complex Synthesis Plans and Networks: Towards a Blueprint for Quantitative Total Synthesis and Green Chemistry. *Organic Process Research & Development*, v. 10, n. 2, p. 212–240, mar. 2006. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/op0501904>. Acesso em: 15 jan. 2021.

ANTONIN, V. S.; MORASHASHI, A. C.; MALPASS, G. R. P. Compreensão de Alunos de Graduação Sobre Conceitos de Química Verde. *In*: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 18 maio 2011, São Paulo, SP. *Anais*... São Paulo, SP: UNIP, 18 maio 2011. p. 1–9. Disponível em: <http://www.advancesincleanerproduction.net/third/files/sessoes/6A/2/Antonin_VS%20-%20Paper%20-%206A2.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 14725-1:2009. Produtos químicos - Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente.* Parte 1: Terminologia. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2009. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?Q=YmR6d0Q2NkdxMEgwMTMvT3QwRzF6T3lBcnluajRQQXNoNHJYYU4yZysycz0=>. Acesso em: 13 jan. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 14725-2:2019. Produtos químicos — Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente.* Parte 2: Sistema de classificação de perigo. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2019. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?Q=OEpoR3lGR1ErU1NLemhlZ2dxejY0Sm9tdDljZ0I4cUZ3OFFTeGFSczBPZz0=>. Acesso em: 13 jan. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 14725-3:2017. Produtos químicos - Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente.* Parte 3: Rotulagem. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2017. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?Q=UUxxclh6MVJnVysyUkFHRUJ5dk4vd1c1NFZ5STllLzdjVnZsdTg4N3pzbz0=>. Acesso em: 13 jan. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 14725-4:2014. Produtos químicos — Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente.* Parte 4: Ficha de informações de segurança de produtos químicos (FISPQ). Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2014. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?Q= aWlIZnBLRGIvQjVJZmV2TnR0 SENka3pybWpuZXo 3SUkyU EdTYlJSM3huZz0=>. Acesso em: 13 jan. 2021.

BURMEISTER, M.; RAUCH, F.; EILKS, I. Education for Sustainable Development (ESD) and chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, v. 13, n. 2, p. 59–68, 2012. Disponível em: <http://xlink.rsc.org/?DOI=C1RP90060A>. Acesso em: 12 jul. 2016.

CHAMIZO, J. A. La imagen pública de la química. *Educación Química*, p. 12, 2011.

CHAMIZO, J. A. The fifth chemical revolution: 1973–1999. *Foundations of Chemistry*, v. 19, n. 2, p. 157–179, jul. 2017. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s10698-017-9280-9>. Acesso em: 24 mar. 2021.

CLARK, J. H. *et al.* 15 years of Green Chemistry. *Green Chem.*, v. 16, n. 1, p. 18–23, 2014. Disponível em: <http://xlink.rsc.org/?DOI=C3GC90047A>. Acesso em: 10 jan. 2018.

CLARK, J. H. Green chemistry: challenges and opportunities. *Green Chemistry*, v. 1, n. 1, p. 1–8, 1 jan. 1999. Disponível em: <http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/1999/gc/a807961g>. Acesso em: 24 maio 2018.

CONSTABLE, D.; JIMÉNEZ-GONZÁLEZ, C.; ANASTAS, P. T. (Org.). *Green metrics*. Weinheim: Wiley-VCH, 2018. Disponível em: <https://application.wiley-vch.de/books/sample/3527326448_c01.pdf>. (Handbook of green chemistry, edited by Paul T. Anastas; Volume 11).

DOMIN, D. S. A Review of Laboratory Instruction Styles. *Journal of Chemical Education*, v. 76, n. 4, p. 543, abr. 1999. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ed076p543>. Acesso em: 24 mar. 2021.

DUARTE, R. C. C. *Síntese verde no Ensino da Química*. 2016. 370 f. Tese (Doutorado em Ensino e Divulgação das Ciências) – Universidade do Porto, Porto, 2016.

DUARTE, R. C. C.; RIBEIRO, M. G. T. C.; MACHADO, A. A. S. C. Avaliação da "microverdura" de sínteses com a estrela verde. *Química Nova*, v. 37, n. 6, p. 1085–1093, 2014. Disponível em: <http://www.gnresearch.org/doi/10.5935/0100-4042.20140168>. Acesso em: 14 jan. 2020.

ECKELMAN, M. J. Life cycle inherent toxicity: a novel LCA-based algorithm for evaluating chemical synthesis pathways. *Green Chemistry*, v. 18, n. 11, p. 3257–3264, 2016. Disponível em: <http://xlink.rsc.org/?DOI=C5GC02768C>. Acesso em: 13 fev. 2019.

EILKS, I.; SJÖSTRÖM, J.; ZUIN, V. G. The responsibility of Chemists for a better world: challenges and potentialities beyond the lab. *Revista Brasileira de Ensino de Química;1*, v. 12, p. 97–105, 2017. Disponível em: <http://muep.mau.se/handle/2043/24035>. Acesso em: 13 set. 2018.

FÍSICO-QUÍMICA Experimental I. Roteiros das práticas de laboratório. Florianópolis: Departamento de Química/UFSC, 2021.

G1 ZONA DA MATA. *Laboratório na UFJF é isolado após incêndio e explosão*. 12 de dez. de 2016. Disponível em: http://g1.globo.com/mg/zona-da-mata/noticia/2016/12/laboratorio-na-ufjf-e-isolado-apos-incendio-e-explosao.html. Acesso em: 08 jul. 2021.

GOES, L. F. DE *et al.* Aspectos do conhecimento pedagógico do conteúdo de química verde em professores universitários de química. *Educación química*, v. 24, p. 113–123, 2013. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0187893X13725047>. Acesso em: 12 jul. 2016.

HILL, R. H. Building Strong Cultures with Chemical Safety Education. *Journal of Chemical Education*, p. acs.jchemed.0c00089, 13 abr. 2020. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.jchemed.0c00089>. Acesso em: 13 jan. 2021.

HILL, R. H. The impact of OSHA's Laboratory Standard on undergraduate safety education. *Journal of Chemical Health & Safety*, v. 23, n. 5, p. 12–17, 1 set. 2016. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.chas.8b23506>. Acesso em: 13 jan. 2021.

HOFFMAN, K. C.; DICKS, A. P. Shifting the paradigm of chemistry education by Greening the high school laboratory. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, v. 16, p. 100242, jun. 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352554119303468>. Acesso em: 13 jan. 2021.

HOWARD-GRENVILLE, J. *et al.* "If Chemists Don't Do It, Who Is Going To?" Peer-driven Occupational Change and the Emergence of Green Chemistry. *Administrative Science Quarterly*, v. 62, n. 3, p. 524–560, set. 2017. Disponível em: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0001839217690530>. Acesso em: 26 jan. 2018.

HUDLICKY, T. *et al.* Toward a 'reagent-free' synthesis. *Green Chemistry*, v. 1, n. 2, p. 57–59, 1999. Disponível em: <http://xlink.rsc.org/?DOI=a901397k>. Acesso em: 15 jan. 2021.

KRALISCH, D.; OTT, D.; GERICKE, D. Rules and benefits of Life Cycle Assessment in green chemical process and synthesis design: a tutorial review. *Green Chemistry*, v. 17, n. 1, p. 123–145, 2015. Disponível em: <http://xlink.rsc.org/?DOI=C4GC01153H>. Acesso em: 7 jan. 2019.

LATOUCHE, S. O decrescimento. Por que e como? In: LÉNA, P.; NASCIMENTO, E. (Org.) . *Enfrentando os limites do crescimento: sustentabilidade, descrescimento e prosperidade*. Rio de Janeiro: Garamond, 2012. p. 45–54.

LLORED, J.-P.; SARRADE, S. Connecting the philosophy of chemistry, green chemistry, and moral philosophy. *Foundations of Chemistry*, v. 18, n. 2, p. 125–152, jul. 2016. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s10698-015-9242-z>. Acesso em: 16 set. 2016.

MACHADO, A. A. S. C. Os princípios da Química Verde e a segurança laboratorial. *Boletim da Socieadade Portuguesa de Químicia*, v. 42, n. 148, p. 47–58, mar. 2018. Disponível em: <https://www.spq.pt/magazines/BSPQuimica/683/article/30002129/pdf>. Acesso em: 19 jan. 2023.

MACHADO, A. A. S. C. Química e Desenvolvimento sustentável - QV, QUIVES, QUISUS. *Boletim da Socieadade Portuguesa de Químicia*, v. 95, p. 59–67, 2004. Disponível em: <https://www.scribd.com/document/262336256/boletimSPQ-095-059-09>. Acesso em: 26 jan. 2018.

MAHAFFY, P. G.; MATLIN, S. A.; HOLME, T. A.; *et al.* Systems thinking for education about the molecular basis of sustainability. *Nature Sustainability*, v. 2, n. 5, p. 362–370, maio 2019. Disponível em: <http://www.nature.com/articles/s41893-019-0285-3>. Acesso em: 19 jul. 2020.

MAHAFFY, P. G.; MATLIN, S. A.; WHALEN, J. M.; *et al.* Integrating the Molecular Basis of Sustainability into General Chemistry through Systems Thinking. *Journal of Chemical Education*, p. acs. jchemed.9b00390, nov. 2019. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.9b00390>. Acesso em: 2 dez. 2019.

MARCELINO, L. V.; SJÖSTRÖM, J.; MARQUES, C. A. Socio-Problematization of Green Chemistry: Enriching Systems Thinking and Social Sustainability by Education. *Sustainability*, v. 11, n. 24, p. 7123, 12 dez. 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/24/7123>. Acesso em: 17 dez. 2019.

MARQUES, C. A. *et al.* A abordagem de questões ambientais: contribuições de formadores de professores de componentes curriculares da área de ensino de química. *Química Nova*, v. 36, n. 4, p. 600–606, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0100-40422013000400020&lng=pt&nrm=iso&tlng=en>. Acesso em: 19 jun. 2018.

MARQUES, C. A. *et al.* Green Chemistry Teaching for Sustainability in Papers Published by the Journal of Chemical Education. *Química Nova*, in press, v. 43, n. 10, p. 1510–1521, 2020. Disponível em: <http://quimicanova.sbq.org.br/audiencia_pdf.asp?aid2=9165&nomeArquivo=ED2020-0126.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2020.

MARQUES, C. A.; MACHADO, A. A. S. C. Environmental Sustainability: implications and limitations to Green Chemistry. *Foundations of Chemistry*, v. 16, n. 2, p. 125–147, 1 jul. 2014. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10698-013-9189-x>. Acesso em: 6 jun. 2018.

MENDES SANDRI, M. C.; SANTIN FILHO, O. Análise da verdura química de experimentos propostos para o ensino médio. *ACTIO: Docência em Ciências*, v. 2, n. 2, p. 97, 9 set. 2017. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/actio/article/view/6809>. Acesso em: 24 mar. 2021.

MENDES SANDRI, M. C.; SANTIN FILHO, O. Os modelos de abordagem da Química Verde no ensino de Química. *Educación Química*, v. 30, n. 4, p. 34, 11 out. 2019. Disponível em: <http://www.revistas.unam.mx/index.php/req/article/view/68335>. Acesso em: 24 mar. 2021.

O GLOBO. *Explosão em laboratório da Coppe/UFRJ deixa três feridos.* 15 de agosto de 2018. Disponível em: https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2018/08/15/laboratorio-da-coppeufrj-registra-explosao.ghtml. Acesso em: 08 jul. 2021.

O'NEIL, N. J. *et al.* Approaches to Incorporating Green Chemistry and Safety into Laboratory Culture. *Journal of Chemical Education*, p. acs.jchemed.0c00134, 27 jul. 2020. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.0c00134>. Acesso em: 13 jan. 2021.

PRAIA, J.; CACHAPUZ, A.; GIL-PÉREZ, D. A hipótese e a experiência científica em educação em ciência: contributos para uma reorientação epistemológica. *Ciência & Educação (Bauru)*, v. 8, n. 2, p. 253–262, 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1516-73132002000200009&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 24 mar. 2021.

QUÍMICA ANALÍTICA Experimental I. Roteiros das práticas de laboratório. Florianópolis: Departamento de Química/UFSC, 2021. Disponível em: https://drive.google.com/file/d/1coir-GPnLRct5tXiuwYSdUlxgTPzDTU2/view?usp=sharing . Acesso em: 26 jan. 2022.

QUÍMICA INORGÂNICA Experimental I. Roteiros das práticas de laboratório. Florianópolis: Departamento de Química/UFSC, 2021. Disponível em: https://docs.google.com/document/d/1V0yLitSP4XgdO7G24tV6uj7LvqKksaDK/edit?usp=sharing&ouid=115662395272912818009&rtpof=true&sd=true . Acesso em: 26 jan. 2022.

QUÍMICA ORGÂNICA Experimental A. Roteiros das práticas de laboratório. Florianópolis: Departamento de Química/UFSC, 2021. Disponível em: https://drive.google.com/file/d/1P756AqlGZxRLz8O-3OG8qbs6otRhuRD4/view?usp=sharing . Acesso em: 26 jan. 2022.

RIBEIRO, M. G. T. C.; COSTA, D. A.; MACHADO, A. A. S. C. Uma métrica gráfica para avaliação holística da verdura de reacções laboratoriais - "Estrela Verde". *Química Nova*, v. 33, n. 3, p. 759–764, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0100-40422010000300050&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 19 jun. 2018.

RIBEIRO, M. G. T. C.; YUNES, S. F.; MACHADO, A. A. S. C. Assessing the Greenness of Chemical Reactions in the Laboratory Using Updated Holistic Graphic Metrics Based on the Globally Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals. *Journal of Chemical Education*, v. 91, n. 11, p. 1901–1908, 11 nov. 2014. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ed400421b>. Acesso em: 19 maio 2020.

ROLOFF, F. B. *A circulação de conhecimentos em química verde em teses e dissertações: implicações ao seu ensino e à formação de professores de química*. 2016. 346 f. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/176688/345882.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 26 jan. 2018.

ROLOFF, F. B. *Questões ambientais em cursos de Licenciatura em Química: as vozes do currículo e professores*. 2012. 249 f. Dissertação de Mestrado (Educação Científica e Tecnológica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/95595/290969.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 19 jan. 2023.

SHELDON, R. A. Consider the environmental quotient. *CHEMTECH; (United States)*, v. 24:3, 1 mar. 1994.

SHELDON, R. A. Green and sustainable manufacture of chemicals from biomass: state of the art. *Green Chemistry*, v. 16, n. 3, p. 950–963, 25 fev. 2014. Disponível em: <http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2014/gc/c3gc41935e>. Acesso em: 24 maio 2018.

SHELDON, R. A. The E factor 25 years on: the rise of green chemistry and sustainability. *Green Chemistry*, v. 19, n. 1, p. 18–43, 3 jan. 2017. Disponível em: <http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2017/gc/c6gc02157c>. Acesso em: 24 maio 2018.

SINDICATO DOS TRABALHADORES EM EDUCAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE. SINTUFF. *Acidente em laboratório deixa servidora gravemente ferida na Faculdade de Veterinária.* 31 de mar. de 2017. Disponível em: http://sintuff.blogspot.com/2017/03/acidente-em-laboratorio-deixa-servidora.html. Acesso em: 08 jul. 2021.

SJÖSTRÖM, J. *et al.* Use of the concept of Bildung in the international science education literature, its potential, and implications for teaching and learning. *Studies in Science Education*, v. 53, n. 2, p. 165–192, 3 jul. 2017. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03057267.2017.1384649>. Acesso em: 11 mar. 2019.

THORNTON, J. Beyond risk: an ecological paradigm to prevent global chemical pollution. *International journal of occupational and environmental health*, v. 6, n. 4, p. 318–330, 2000. Disponível em: <http://www.maneyonline.com/doi/abs/10.1179/oeh.2000.6.4.318>. Acesso em: 20 jul. 2016.

TIMMER, B. J. J. *et al.* Simple and Effective Integration of Green Chemistry and Sustainability Education into an Existing Organic Chemistry Course. *Journal of Chemical Education*, v. 95, n. 8, p. 1301–1306, 14 ago. 2018. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.7b00720>. Acesso em: 19 maio 2020.

TROST, B. The atom economy: a search for synthetic efficiency. *Science*, v. 254, n. 5037, p. 1471–1477, 6 dez. 1991. Disponível em: <http://www.sciencemag.org/cgi/doi/10.1126/science.1962206>. Acesso em: 9 jan. 2020.

UNITED NATIONS (Org.). *Globally harmonized system of classification and labelling of chemicals (GHS)*. Eighth revised edition ed. New York Geneva: United Nations, 2019. Disponível em: <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/ghs/ghs_rev08/ST-SG-AC10-30-Rev8e.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2023.

UNITED NATIONS. *Agenda 21*. United Nations Conference on Environment & Development. Rio de Janeiro, RJ: United Nations, 3 jun. 1992. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf>.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. UFMG. *Princípio de incêndio isola prédio da Química.* 03 de nov. de 2010. Disponível em: https://www.ufmg.br/online/arquivos/017267.shtml. Acesso em: 08 jul. 2021.

ZANDONAI, D. P. *et al.* Green Chemistry and the Training of Chemists: a Report of a Didactic Experience Outside the Learning Laboratory. *Revista Virtual de Química*, v. 6, n. 1, 2014. Disponível em: <http://www.gnresearch.org/doi/10.5935/1984-6835.20140007>. Acesso em: 12 jul. 2016.

ZHENG, J.-L. *et al.* Life-cycle assessment and techno-economic analysis of the utilization of bio-oil components for the production of three chemicals. *Green Chemistry*, v. 20, n. 14, p. 3287–3301, 2018. Disponível em: <http://xlink.rsc.org/?DOI=C8GC01181H>. Acesso em: 11 fev. 2019.

ZUIN, V. G. *A Inserção da Dimensão Ambiental na Formação de Professores de Química*. Edição: 1 ed. Campinas: Átomo, 2011.

ZUIN, V. G. A inserção da Química Verde nos programas de pós-graduação em Química do Brasil: tendências e perspectivas. *Revista Brasileira de Pós-Graduação*, v. 10, n. 21, 2013. Disponível em: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&p rofile=ehost &scope=site&authtyp e=crawler& jrnl=180684 05&AN=948677 06&h=O8VxafyE 3Q9jjXOJJ oxUlynI%2B QgfFHOmNdBX6UidctzDwEzJ60PtB3MP%2B3CiBpJ7AV3maPfPgaL1yLmTq0hHtg%3D%3D&crl=c>. Acesso em: 12 jul. 2016.

ZUIN, V. G.; DE ALMEIDA PACCA, J. L. Formación docente en química y ambientación curricular: estudio de caso en una institución de enseñanza superior brasileña. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, v. 31, n. 1, 2013. Disponível em: <http://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/285705>. Acesso em: 20 jul. 2016.

MATERIAL PARA CONSTRUÇÃO DA ESTRELA VERDE

Substâncias	Códigos de Perigo	Valores de Perigos (P)		
		Saúde	Ambiente	Físico
Reagentes Estequiométricos				
Solventes e outras substâncias auxiliares				
Produtos				
Resíduos				

Quadro em Apêndice A.1 – Inventário de substâncias e seus perigos

Códigos	Classe de Perigo	P
H200	Físico	3
H201	Físico	3
H202	Físico	3
H203	Físico	3
H204:	Físico	2
H205	Físico	3
H206	Físico	3
H207	Físico	3
H208	Físico	3
H220	Físico	3
H221	Físico	2
H222	Físico	3
H223	Físico	2
H224	Físico	3
H225	Físico	3
H226	Físico	2
H227	Físico	2
H228 (cat. 1)	Físico	3
H228 (cat. 2)	Físico	2
H229	Físico	2
H230	Físico	3
H231	Físico	2
H240	Físico	3
H241	Físico	3
H242 (Tipo C e D)	Físico	3
H242 (Tipo E e F)	Físico	2
H250	Físico	3
H251	Físico	3
H252	Físico	2
H260	Físico	3
H261(cat. 2)	Físico	3
H261(cat. 3)	Físico	2
H270	Físico	3
H271	Físico	3
H272(cat. 2)	Físico	3
H272(cat. 3)	Físico	2
H280	Físico	2
H281	Físico	2
H290	Físico	2
H300	Saúde	3
H301	Saúde	3
H302	Saúde	2
H303	Saúde	2
H304	Saúde	3
H305	Saúde	2
H310	Saúde	3
H311	Saúde	3
H312	Saúde	2
H313	Saúde	2
H314	Saúde	3
H315	Saúde	2
H316	Saúde	2
H317	Saúde	2
H318	Saúde	3
H319	Saúde	2
H320	Saúde	2
H330	Saúde	3
H331	Saúde	3
H332	Saúde	2
H333	Saúde	2
H334	Saúde	3
H335	Saúde	2
H336	Saúde	2
H340	Saúde	3
H341	Saúde	3
H350	Saúde	3
H351	Saúde	3
H360	Saúde	3
H361	Saúde	3
H362	Saúde	2
H370	Saúde	3
H371	Saúde	3
H372	Saúde	3
H373	Saúde	3
H400	Ambiente	3
H401	Ambiente	3
H402	Ambiente	2
H410	Ambiente	3
H411	Ambiente	3
H412	Ambiente	2
H413	Ambiente	2
H420	Ambiente	3
EUH001	Físico	3
EUH006	Físico	3
EUH014	Físico	3
EUH018	Físico	3
EUH019	Físico	3
EUH029	Saúde	3
EUH031	Saúde	3
EUH032	Saúde	3
EUH044	Físico	3
EUH059	Ambiente	3
EUH066	Saúde	2
EUH070	Saúde	3
EUH071	Saúde	3
EUH201	Saúde	3
EUH201A	Saúde	2
EUH202	Saúde	3
EUH203	Saúde	2
EUH204	Saúde	2
EUH205	Saúde	2
EUH206	Saúde	3
EUH207	Saúde	3
EUH208	Saúde	2
EUH209	Físico	3
EUH209A	Físico	2

Quadro em Apêndice A.2 – Valores de perigo associados às frases de perigo

Fonte: Adaptado do GHS (UNITED NATIONS, 2019) e Ribeiro, Costa e Machado (2010).

Princípios da Química Verde	Critérios	Perigo (P)	Verdura Química (V)
P1 – Prevenção	Todos os resíduos são inócuos	1	3
	Formação de pelo menos um resíduo que envolva perigo moderado para a saúde e ambiente	2	2
	Formação de pelo menos um resíduo que envolva perigo elevado para a saúde e ambiente	3	1
P2 - Economia atômica	Reações sem reagentes em excesso (≤10%) e sem formação de coprodutos	1	3
	Reações sem reagentes em excesso (≤10%) e com formação de coprodutos	2	2
	Reações com reagentes em excesso (>10%) e sem formação de coprodutos	2	2
	Reações com reagentes em excesso (>10%) e com formação de coprodutos	3	1
P3 – Sínteses menos perigosas	Todas as substâncias envolvidas são inócuas	1	3
	As substâncias envolvidas apresentam perigo moderado para a saúde e ambiente	2	2
	Pelo menos uma das substâncias envolvidas apresenta perigo elevado para a saúde e ambiente	3	1
P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	Os solventes e as substâncias auxiliares não existem ou são inócuas	1	3
	Os solventes e as substâncias auxiliares usadas envolvem perigo moderado para a saúde e ambiente	2	2
	Pelo menos um dos solventes ou uma das substâncias auxiliares usadas envolve perigo elevado para a saúde e ambiente	3	1
P6 – Planificação para conseguir eficácia energética	Temperatura e pressão ambientais	1	3
	Pressão ambiental e temperatura entre 0ºC e 100ºC que implique arrefecimento ou aquecimento	2	2
	Pressão diferente da ambiental e/ou temperatura > 100ºC ou menor do que 0ºC	3	1
P7 – Uso de matérias primas renováveis	Todos os reagentes/matérias-primas envolvidos são renováveis	1	3
	Pelo menos um dos reagentes/matérias-primas envolvidos é renovável, não se considera a água	2	2
	Nenhum dos reagentes/matérias-primas envolvidos é renovável, não se considera a água	3	1
P8 – Reduzir derivatizações	Sem derivatizações ou com uma etapa	1	3
	Usa-se apenas uma derivatização ou duas etapas	2	2
	Usam-se várias derivatizações ou mais do que duas etapas	3	1
P9 – Catalisadores	Não se usam catalisadores ou os catalisadores são inócuos	1	3
	Utilizam-se catalisadores que envolvem perigo moderado para a saúde e ambiente	2	2
	Utilizam catalisadores que envolvem perigo elevado para a saúde e ambiente	3	1

P10 – Planificação para a degradação	Todas as substâncias envolvidas são degradáveis com os produtos de degradação inócuos	1	3
	Todas as substâncias envolvidas que não são degradáveis podem ser tratados para obter a sua degradação com os produtos de degradação inócuos	2	2
	Pelo menos uma das substâncias envolvidas não é degradável nem pode ser tratada para obter a sua degradação com produtos de degradação inócuos	3	1
P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	As substâncias envolvidas apresentam perigo baixo de acidente químico (considerando os perigos para a saúde e perigos físicos)	1	3
	As substâncias envolvidas apresentam perigo moderado de acidente químico (considerando os perigos para a saúde e perigos físicos, e sem substâncias com p=3)	2	2
	As substâncias envolvidas apresentam perigo elevado de acidente químico (considerando os perigos para a saúde e perigos físicos)	3	1

Quadro em Apêndice A.3 – Escala de transformação dos valores de Perigo (P) em verdura química (V)

Características	Critérios	Pontuação de Perigo (P)
Degradabilidade	Não degradáveis e que não possam ser tratados para se obter a sua degradação em produtos de degradação inócuos	3
	Não degradáveis mas que possam ser tratadas para se obter a sua degradação em produtos de degradação inócuos	2
	Degradáveis com produtos de degradação inócuos	1
Renovabilidade	Não renováveis	3
	Renováveis	1

Quadro em Apêndice A.4 – Escala para valores de verdura química associadas à renovabilidade e degradabilidade

Princípio	Verdura Química (V)	Justificativa
P1 – Prevenção		
P2 - Economia atômica		
P3 – Sínteses menos perigosas		
P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras		
P6 – Planificação para conseguir eficácia energética		
P7 – Uso de matérias primas renováveis		
P8 – Reduzir derivatizações		
P9 – Catalisadores		
P10 – Planificação para a degradação		
P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes		

Quadro em Apêndice A.5 – Tabela para preencher os valores de verdura química (Processos com síntese)

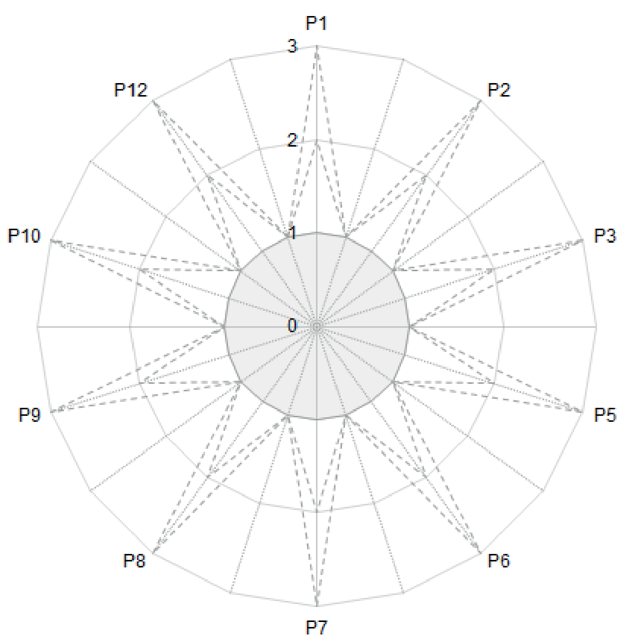


Figura em Apêndice A.1 – Modelo de Estrela Verde (processos com síntese)

Princípio	Verdura Química (V)	Justificativa
P1 – Prevenção		
P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras		
P6 – Planificação para conseguir eficácia energética		
P7 – Uso de matérias-primas renováveis		
P10 – Planificação para a degradação		
P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes		

Quadro em Apêndice A.6 – Tabela para preencher os valores de verdura química (Processos sem síntese)

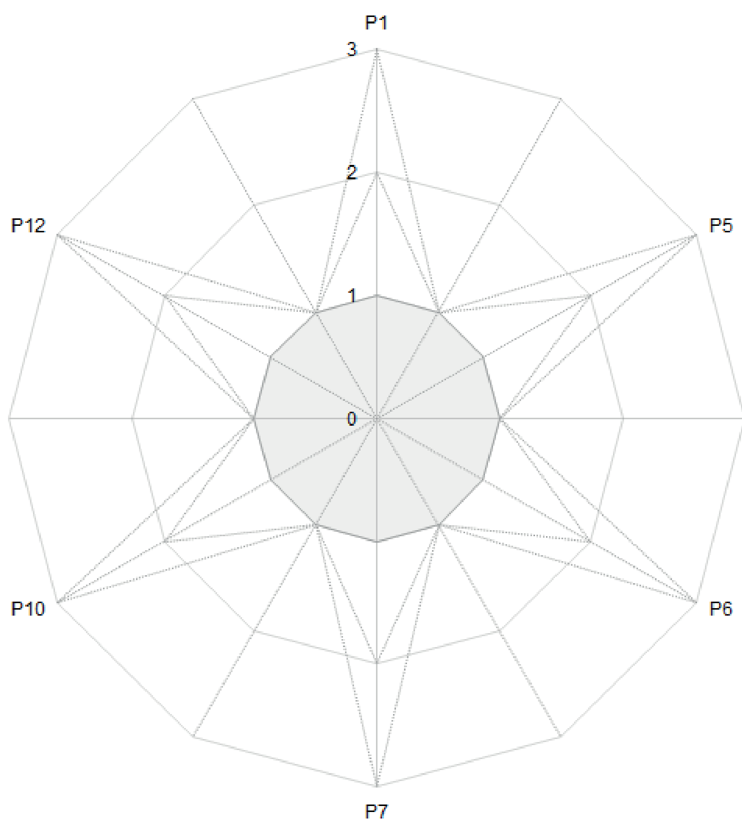


Figura em Apêndice A.2 – Modelo de Estrela Verde (processos sem síntese)

CLASSIFICAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS FÍSICOS

Categoria de perigo	Palavra de Advertência	Código de perigo	Frase de perigo	Pictograma	
				GHS	Modelo ONU
Explosivo instável	Perigo	H200	Explosivo instável		*sem pictograma (não é permitido o transporte)*
Divisão 1.1	Perigo	H201	Explosivo; perigo de explosão em massa		
Divisão 1.2	Perigo	H202	Explosivo; perigo grave de projeções		
Divisão 1.3	Perigo	H203	Explosivo; perigo de incêndio, sopro ou projeções		
Divisão 1.4	Atenção	H204	Perigo de incêndio ou projeções		
Divisão 1.5	Perigo	H205	Perigo de explosão em massa em caso de incêndio	*Sem pictograma*	
Divisão 1.6	Sem Palavra de Advertência	Nenhum	Sem Frase de perigo	*Sem pictograma*	

Quadro em Anexo A.1 – Categorias de substâncias e misturas explosivas

Fonte: Informações adaptadas do GHS (UNITED NATIONS, 2019).

Categoria de perigo	Palavra de Advertência	Código de perigo	Frase de perigo	Pictograma	
				GHS	Modelo ONU
Categoria 1	Perigo	H206	Perigo de incêndio, projeção; aumento do risco de explosão se o agente dessensibilizante é reduzido		*Não aplicável*
Categoria 2	Perigo	H207	Perigo de incêndio ou projeção; aumento do risco de explosão se o agente dessensibilizante é reduzido		*Não aplicável*
Categoria 3	Perigo	H207	Perigo de incêndio ou projeção; aumento do risco de explosão se o agente dessensibilizante é reduzido		*Não aplicável*
Categoria 4	Perigo	H208	Perigo de incêndio; aumento do risco de explosão se o agente dessensibilizante é reduzido		*Não aplicável*

Quadro em Anexo A.2 – Categorias de substâncias e misturas explosivas dessensibilizadas

Fonte: Informações adaptadas do GHS (UNITED NATIONS, 2019).

Categoria de perigo	Palavra de Advertência	Código de perigo	Frase de perigo	Pictograma	
				GHS	Modelo ONU
Categoria 1	Perigo	H220	Gás extremamente inflamável		
Categoria 2	Atenção	H221	Gás inflamável	*Sem pictograma*	*Não obrigatório*
Categoria A (gases quimicamente instáveis)	*Sem Palavra de Advertência adicional*	H230	Frase de perigo adicional: pode reagir explosivamente mesmo na ausência de ar	*Sem pictograma adicional*	*Não obrigatório*
Categoria B (gases quimicamente instáveis)	*Sem Palavra de Advertência adicional*	H231	Frase de perigo adicional: pode reagir explosivamente mesmo na ausência de ar a temperatura e/ou pressão elevadas	*Sem pictograma adicional*	*Não obrigatório*

Quadro em Anexo A.3 – Categorias de toxicidade para órgãos-alvo específicos por exposição única

Fonte: Informações adaptadas do GHS (UNITED NATIONS, 2019).

Categoria de perigo	Palavra de Advertência	Código de perigo	Frase de perigo	Pictograma	
				GHS	Modelo ONU
Categoria 1	Perigo	H222 / H229	Aerossol extremamente inflamável. Recipiente sob pressão: pode explodir se aquecido.		
Categoria 2	Atenção	H223 / H229	Aerossol inflamável. Recipiente sob pressão: pode explodir se aquecido.		
Categoria 3	Atenção	H229	Recipiente sob pressão: pode explodir se aquecido.	*Sem pictograma*	

Quadro em Anexo A.4 – Categorias de perigos de aerossóis

Fonte: Informações adaptadas do GHS (UNITED NATIONS, 2019).

Categoria de perigo	Palavra de Advertência	Código de perigo	Frase de perigo	Pictograma	
				GHS	Modelo ONU
Categoria 1	Perigo	H224	Líquido e vapor extremamente inflamáveis		
Categoria 2	Perigo	H225	Líquido e vapor altamente inflamáveis		
Categoria 3	Atenção	H226	Líquido e vapor inflamáveis		
Categoria 4	Atenção	H227	Líquido combustível	*Sem pictograma*	*Não obrigatório*

Quadro em Anexo A.5 – Categorias de toxicidade para órgãos-alvo específicos por exposição única

Fonte: Informações adaptadas do GHS (UNITED NATIONS, 2019).

Categoria de perigo	Palavra de Advertência	Código de perigo	Frase de perigo	Pictograma	
				GHS	**Modelo ONU**
Categoria 1	Perigo	H228	Sólido inflamável		
Categoria 2	Atenção	H228	Sólido inflamável		

Quadro em Anexo A.6 – Categorias de sólidos inflamáveis

Fonte: Informações adaptadas do GHS (UNITED NATIONS, 2019).

Categoria de perigo	Palavra de Advertência	Código de perigo	Frase de perigo	Pictograma	
				GHS	**Modelo ONU**
Tipo A	Perigo	H240	Risco de explosão sob a ação do calor		*Transporte pode não ser permitido*
Tipo B	Perigo	H241	Risco de explosão ou de incêndio sob a ação do calor	 	 
Tipo C e D	Perigo	H242	Risco de incêndio sob a ação do calor		
Tipo E e F	Atenção	H242	Risco de incêndio sob a ação do calor		
Tipo G	*Sem Palavra de Advertência*	*Nenhum*	*Sem Frase de perigo*	*Sem pictograma*	*Não obrigatório*

Quadro em Anexo A.7 – Categorias de substâncias e misturas autorreativas

Fonte: Informações adaptadas do GHS (UNITED NATIONS, 2019).

Categoria de perigo	Palavra de Advertência	Código de perigo	Frase de perigo	Pictograma	
				GHS	Modelo ONU
Categoria 1	Perigo	H250	Risco de combustão espontânea em contato com o ar		

Quadro em Anexo A.8 – Categorias de líquidos pirofóricos

Fonte: Informações adaptadas do GHS (UNITED NATIONS, 2019).

Categoria de perigo	Palavra de Advertência	Código de perigo	Frase de perigo	Pictograma	
				GHS	Modelo ONU
Categoria 1	Perigo	H250	Risco de combustão espontânea em contato com o ar		

Quadro em Anexo A.9 – Categorias de sólidos pirofóricos

Fonte: Informações adaptadas do GHS (UNITED NATIONS, 2019).

Categoria de perigo	Palavra de Advertência	Código de perigo	Frase de perigo	Pictograma	
				GHS	Modelo ONU
Categoria 1	Perigo	H251	Suscetível de autoaquecimento; perigo de combustão		
Categoria 2	Atenção	H252	Suscetível de autoaquecimento em grandes quantidades: perigo de combustão		

Quadro em Anexo A.10 – Categorias de substâncias e misturas suscetíveis de autoaquecimento

Fonte: Informações adaptadas do GHS (UNITED NATIONS, 2019).

Categoria de perigo	Palavra de Advertência	Código de perigo	Frase de perigo	Pictograma	
				GHS	Modelo ONU
Categoria 1	Perigo	H260	Em contato com a água libera gases que se podem inflamar espontaneamente		
Categoria 2	Perigo	H261	Em contato com a água libera gases inflamáveis		
Categoria 3	Atenção	H261	Em contato com a água libera gases inflamáveis		

Quadro em Anexo A.11 – Categorias de substâncias e misturas que liberam gases inflamáveis em contato com a água

Fonte: Informações adaptadas do GHS (UNITED NATIONS, 2019).

Categoria de perigo	Palavra de Advertência	Código de perigo	Frase de perigo	Pictograma	
				GHS	Modelo ONU
Categoria 1	Perigo	H270	Pode causar ou agravar o fogo; oxidante		

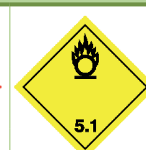
Quadro em Anexo A.12 – Categorias de gases oxidantes

Fonte: Informações adaptadas do GHS (UNITED NATIONS, 2019).

Categoria de perigo	Palavra de Advertência	Código de perigo	Frase de perigo	Pictograma	
				GHS	**Modelo ONU**
Categoria 1	Perigo	H271	Risco de incêndio ou de explosão; muito oxidante		
Categoria 2	Perigo	H272	Pode agravar incêndios; oxidante		
Categoria 3	Atenção	H272	Pode agravar incêndios; oxidante		

Quadro em Anexo A.13 – Categorias de líquidos oxidantes

Fonte: Informações adaptadas do GHS (UNITED NATIONS, 2019).

Categoria de perigo	Palavra de Advertência	Código de perigo	Frase de perigo	Pictograma	
				GHS	**Modelo ONU**
Categoria 1	Perigo	H271	Risco de incêndio ou de explosão; muito oxidante		
Categoria 2	Perigo	H272	Pode agravar incêndios; oxidante		
Categoria 3	Atenção	H272	Pode agravar incêndios; oxidante		

Quadro em Anexo A.14 – Categorias de sólidos oxidantes

Fonte: Informações adaptadas do GHS (UNITED NATIONS, 2019).

Categoria de perigo	Palavra de Advertência	Código de perigo	Frase de perigo	Pictograma	
				GHS	Modelo ONU
Tipo A	Perigo	H240	Risco de explosão sob ação do calor		*Sem pictograma*
Tipo B	Perigo	H241	Risco de explosão ou de incêndio sob a ação do calor	 	 
Tipo C e D	Perigo	H242	Risco de incêndio sob ação do calor		
Tipo E e F	Atenção	H242	Risco de incêndio sob a ação do calor		
Tipo G	*Sem Palavra de Advertência*	*Nenhum*	*Sem Frase de perigo*	*Sem pictograma*	*Não obrigatório*

Quadro em Anexo A.15 – Categorias de peróxidos orgânicos

Fonte: Informações adaptadas do GHS (UNITED NATIONS, 2019).

Categoria de perigo	Palavra de Advertência	Código de perigo	Frase de perigo	Pictograma	
				GHS	Modelo ONU
Categoria 1	Atenção	H290	Pode ser corrosivo para os metais		

Quadro em Anexo A.16 – Categorias de substâncias e misturas corrosivas para os metais

Fonte: Informações adaptadas do GHS (UNITED NATIONS, 2019).

Categoria de perigo	Palavra de Advertência	Código de perigo	Frase de perigo	Pictograma	
				GHS	Modelo ONU
Gás comprimido	Atenção	H280	Contém gás sob pressão; pode explodir se aquecido		
Gás liquefeito	Atenção	H280	Contém gás sob pressão; pode explodir se aquecido		
Gás líquido refrigerado	Atenção	H281	Contém gás refrigerado; pode causar queimaduras ou lesões criogênicas		
Gás dissolvido	Atenção	H280	Contém gás sob pressão; pode explodir se aquecido		

Quadro em Anexo A.17 – Categorias de sólidos oxidantes

Fonte: Informações adaptadas do GHS (UNITED NATIONS, 2019).

CLASSIFICAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS À SAÚDE

Categoria de perigo	Palavra de Advertência	Código de perigo	Frase de perigo	Pictograma	
				GHS	Modelo ONU
Categoria 1 - oral	Perigo	H300	Mortal por ingestão		
Categoria 2 - oral	Perigo	H300	Mortal por ingestão		
Categoria 3 - oral	Perigo	H301	Tóxico por ingestão		
Categoria 1 - dérmica	Perigo	H310	Mortal em contato com a pele		
Categoria 2 - dérmica	Perigo	H310	Mortal em contato com a pele		
Categoria 3 - dérmica	Perigo	H311	Tóxico em contato com a pele		
Categoria 1 - inalação	Perigo	H330	Mortal por inalação		
Categoria 2 - inalação	Perigo	H330	Mortal por inalação		
Categoria 3 - inalação	Perigo	H331	Tóxico por inalação		

Categoria 4 - oral	Atenção	H302	Nocivo por ingestão		*Sem pictograma*
Categoria 5 - oral	Atenção	H303	Pode ser nocivo por ingestão	*Sem pictograma*	*Não obrigatório*
Categoria 4 - dérmica	Atenção	H312	Nocivo em contacto com a pele		*Sem pictograma*
Categoria 5 - dérmica	Atenção	H313	Pode ser nocivo em contacto com a pele	*Sem pictograma*	*Não obrigatório*
Categoria 4 - inalação	Atenção	H332	Nocivo por inalação		
Categoria 5 - inalação	Atenção	H333	Pode ser nocivo por inalação	*Sem pictograma*	*Não obrigatório*

Quadro em Anexo B.1 – Categorias de toxicidade aguda

Fonte: Informações adaptadas do GHS (UNITED NATIONS, 2019).

Categoria de perigo	**Palavra de Advertência**	**Código de perigo**	**Frase de perigo**	**Pictograma**	
				GHS	**Modelo ONU**
Categoria 1	Perigo	H314	Provoca queimaduras na pele e lesões oculares graves		
Categoria 2	Atenção	H315	Provoca irritação cutânea		*Não obrigatório*
Categoria 3	Atenção	H316	Provoca ligeira irritação cutânea	*Sem pictograma*	*Não obrigatório*

Quadro em Anexo B.2 – Categorias de irritação e corrosão da pele

Fonte: Informações adaptadas do GHS (UNITED NATIONS, 2019).

Categoria de perigo	Palavra de Advertência	Código de perigo	Frase de perigo	Pictograma	
				GHS	**Modelo ONU**
Categoria 1	Perigo	H318	Provoca lesões oculares graves		*Não obrigatório*
Categoria 2, 2A	Atenção	H319	Provoca irritação ocular grave		*Não obrigatório*
Categoria 2 B	Atenção	H320	Provoca irritação ocular	*Sem pictograma*	*Não obrigatório*

Quadro em Anexo B.3 – Categorias de lesões oculares graves/irritação ocular

Fonte: Informações adaptadas do GHS (UNITED NATIONS, 2019).

Categoria de perigo	**Palavra de Advertência**	**Código de perigo**	**Frase de perigo**	**Pictograma**	
				GHS	**Modelo ONU**
Categorias 1, 1A, 1B	Perigo	H334	Quando inalado, pode provocar sintomas de alergia ou de asma ou dificuldades respiratórias		*Não obrigatório*

Quadro em Anexo B.4 – Categorias de sensibilização respiratória

Fonte: Informações adaptadas do GHS (UNITED NATIONS, 2019).

Categoria de perigo	**Palavra de Advertência**	**Código de perigo**	**Frase de perigo**	**Pictograma**	
				GHS	**Modelo ONU**
Categorias 1, 1A, 1B	Atenção	H317	Pode provocar uma reação alérgica cutânea		*Não obrigatório*

Quadro em Anexo B.5 – Categorias de sensibilização da pele

Fonte: Informações adaptadas do GHS (UNITED NATIONS, 2019).

Categoria de perigo	Palavra de Advertência	Código de perigo	Frase de perigo	Pictograma	
				GHS	Modelo ONU
Categorias 1A, 1B	Perigo	H340	Pode provocar anomalias genéticas (indicar a via de exposição se existirem provas concludentes de que o perigo não decorre de nenhuma outra via de exposição)		*Não obrigatório*
Categoria 2	Atenção	H341	Suspeito de provocar anomalias genéticas (indicar a via de exposição se existirem provas concludentes de que o perigo não decorre de nenhuma outra via de exposição)		*Não obrigatório*

Quadro em Anexo B.6 – Categorias de mutagenicidade em células germinativas

Fonte: Informações adaptadas do GHS (UNITED NATIONS, 2019).

Categoria de perigo	Palavra de Advertência	Código de perigo	Frase de perigo	Pictograma	
				GHS	Modelo ONU
Categorias 1A, 1B	Perigo	H350	Pode provocar câncer (indicar a via de exposição se existirem provas concludentes de que o perigo não decorre de nenhuma outra via de exposição)		*Não obrigatório*
Categoria 2	Atenção	H351	Suspeito de provocar câncer (indicar a via de exposição se existirem provas concludentes de que o perigo não decorre de nenhuma outra via de exposição)		*Não obrigatório*

Quadro em Anexo B.7 – Categorias de carcinogenicidade

Fonte: Informações adaptadas do GHS (UNITED NATIONS, 2019).

Categoria de perigo	Palavra de Advertência	Código de perigo	Frase de perigo	Pictograma	
				GHS	Modelo ONU
Categorias 1A, 1B	Perigo	H360	Pode afetar a fertilidade ou o nascituro (indicar o efeito específico se este for conhecido) (indicar a via de exposição se existirem provas concludentes de que o perigo não decorre de nenhuma outra via de exposição)		*Não obrigatório*

Categoria 2	Atenção	H361	Suspeito de afetar a fertilidade ou o nascituro (indicar o efeito específico se este for conhecido) (indicar a via de exposição se existirem provas concludentes de que o perigo não decorre de nenhuma outra via de exposição)		*Não obrigatório*
Categoria suplementar para efeitos sobre a lactação ou através dela	*Sem Palavra de Advertência*	H362	Pode ser nocivo para as crianças alimentadas com leite materno.	*Sem pictograma*	*Não obrigatório*

Quadro em Anexo B.8 – Categorias de toxicidade reprodutiva

Fonte: Informações adaptadas do GHS (UNITED NATIONS, 2019).

Categoria de perigo	**Palavra de Advertência**	**Código de perigo**	**Frase de perigo**	**Pictograma**	
				GHS	**Modelo ONU**
Categoria 1	Perigo	H370	Afeta os órgãos (ou indicar todos os órgãos afetados, se forem conhecidos) (indicar a via de exposição se existirem provas concludentes de que o perigo não decorre de nenhuma outra via de exposição)		*Não obrigatório*
Categoria 2	Atenção	H371	Pode afetar os órgãos (ou indicar todos os órgãos afetados, se forem conhecidos) (indicar a via de exposição se existirem provas concludentes de que o perigo não decorre de nenhuma outra via de exposição)		*Não obrigatório*
Categoria 3	Atenção	H335	Pode provocar irritação das vias respiratórias		*Não obrigatório*
Categoria 3	Atenção	H336	Pode provocar sonolência ou vertigens		

Quadro em Anexo B.9 – Categorias de toxicidade para órgãos-alvo específicos por exposição única

Fonte: Informações adaptadas do GHS (UNITED NATIONS, 2019).

Categoria de perigo	Palavra de Advertência	Código de perigo	Frase de perigo	Pictograma	
				GHS	Modelo ONU
Categoria 1	Perigo	H372	Afeta os órgãos (ou indicar todos os órgãos afetados, se forem conhecidos) após exposição prolongada ou repetida (indicar a via de exposição se existirem provas concludentes de que o perigo não decorre de nenhuma outra via de exposição)		*Não obrigatório*
Categoria 2	Atenção	H373	Pode afetar os órgãos (ou indicar todos os órgãos afetados, se forem conhecidos) após exposição prolongada ou repetida (indicar a via de exposição se existirem provas concludentes de que o perigo não decorre de nenhuma outra via de exposição)		*Não obrigatório*

Quadro em Anexo B.10 – Categorias de toxicidade para órgãos-alvo específicos por exposição única

Fonte: Informações adaptadas do GHS (UNITED NATIONS, 2019).

Categoria de perigo	Palavra de Advertência	Código de perigo	Frase de perigo	Pictograma	
				GHS	Modelo ONU
Categoria 1	Perigo	H304	Pode ser mortal por ingestão e penetração nas vias respiratórias		*Não obrigatório*
Categoria 1	Atenção	H305	Pode ser nocivo por ingestão e penetração nas vias respiratórias		*Não obrigatório*

Quadro em Anexo B.11 – Categorias de perigo de aspiração

Fonte: Informações adaptadas do GHS (UNITED NATIONS, 2019).

CLASSIFICAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS AO MEIO AMBIENTE

Categoria de perigo	Palavra de Advertência	Código de perigo	Frase de perigo	Pictograma	
				GHS	Modelo ONU
Categoria aguda 1	Atenção	H400	Muito tóxico para os organismos aquáticos		

Categoria aguda 2	*Sem Palavra de Advertência*	H401	Tóxico para os organismos aquáticos	*Sem pictograma*	*Não obrigatório*
Categoria aguda 3	*Sem Palavra de Advertência*	H402	Nocivo para os organismos aquáticos	*Sem pictograma*	*Não obrigatório*

Quadro em Anexo C.1 – Categorias de perigos para o meio ambiente aquático - toxicidade aguda

Fonte: Informações adaptadas do GHS (UNITED NATIONS, 2019).

Categoria de perigo	**Palavra de Advertência**	**Código de perigo**	**Frase de perigo**	**Pictograma**	
				GHS	**Modelo ONU**
Categoria crónica 1	Atenção	H410	Muito tóxico para os organismos aquáticos com efeitos duradouros		
Categoria crónica 2	*Sem Palavra de Advertência*	H411	Tóxico para os organismos aquáticos com efeitos duradouros		
Categoria crónica 3	*Sem Palavra de Advertência*	H412	Nocivo para os organismos aquáticos com efeitos duradouros	Sem pictograma	*Não obrigatório*
Categoria crónica 4	*Sem Palavra de Advertência*	H413	Pode provocar efeitos nocivos duradouros nos organismos aquáticos	Sem pictograma	*Não obrigatório*

Quadro em Anexo C.2 – Categorias de perigo para o meio ambiente aquático - toxicidade crônica

Fonte: Informações adaptadas do GHS (UNITED NATIONS, 2019).

Categoria de perigo	**Palavra de Advertência**	**Código de perigo**	**Frase de perigo**	**Pictograma**	
				GHS	**Modelo ONU**
Categoria 1	Atenção	H420	Prejudica a saúde pública e o ambiente ao destruir o ozono na atmosfera superior		*Não obrigatório*
Sem categoria	Perigo	EUH059	Perigoso para a camada de ozônio	*Sem pictograma*	*Não obrigatório*

Quadro em Anexo C.3 – Categorias de perigos para a camada de ozônio

Fonte: Informações adaptadas do GHS (UNITED NATIONS, 2019).

FRASES DE PERIGO

Código	Descrição
H200	Explosivo; instável
H201	Explosivo; perigo de explosão em massa
H202	Explosivo; perigo grave de projeção
H203	Explosivo; perigo de incêndio, deslocamento de ar ou projeções
H204	Perigo de incêndio ou projeções
H205	Perigo de explosão em massa em caso de incêndio
H206	Perigo de incêndio, projeção; aumento do risco de explosão se o agente dessensibilizante é reduzido
H207	Perigo de incêndio ou projeção; aumento do risco de explosão se o agente dessensibilizante é reduzido
H208	Perigo de incêndio; aumento do risco de explosão se o agente dessensibilizante é reduzido
H220	Gás extremamente inflamável
H221	Gás inflamável
H222	Aerossol extremamente inflamável
H223	Aerossol inflamável
H224	Líquido e vapores extremamente inflamáveis
H225	Líquido e vapores altamente inflamáveis
H226	Líquido e vapores inflamáveis
H227	Líquido combustível
H228	Sólido inflamável
H229	Recipiente pressurizado: pode romper se aquecido
H230	Pode reagir explosivamente mesmo na ausência de ar
H231	Pode reagir explosivamente mesmo na ausência de ar em pressão e/ou temperatura elevada(s)
H240	Pode explodir sob ação do calor
H241	Pode explodir ou incendiar sob ação do calor
H242	Pode incendiar sob ação do calor
H250	Inflama-se espontaneamente em contato com o ar
H251	Sujeito a auto aquecimento, pode se inflamar
H252	Sujeito a auto aquecimento em grandes quantidades, pode se inflamar
H260	Em contato com a água desprende gases inflamáveis que podem inflamar-se espontaneamente
H261	Em contato com a água desprende gases inflamáveis
H270	Pode provocar ou agravar um incêndio, oxidante
H271	Pode provocar incêndio ou explosão, muito comburente
H272	Pode agravar um incêndio, comburente
H280	Contém gás sob pressão: pode explodir sob ação do calor

H281	Contém gás refrigerado: pode causar queimaduras ou lesões criogênicas
H290	Pode ser corrosivo para os metais
H300	Fatal se ingerido
H301	Tóxico se ingerido
H302	Nocivo se ingerido
H303	Pode ser nocivo se ingerido
H304	Pode ser fatal se ingerido e penetrar nas vias respiratórias
H305	Pode ser nocivo se ingerido e penetrar nas vias respiratórias
H310	Fatal em contato com a pele
H311	Tóxico em contato com a pele
H312	Nocivo em contato com a pele
H313	Pode ser nocivo em contato com a pele
H314	Provoca queimadura severa à pele e dano aos olhos
H315	Provoca irritação à pele
H316	Provoca irritação moderada à pele
H317	Pode provocar reações alérgicas na pele
H318	Provoca lesões oculares graves
H319	Provoca irritação ocular grave
H320	Provoca irritação ocular
H330	Fatal se inalado
H331	Tóxico se inalado
H332	Nocivo se inalado
H333	Pode ser nocivo se inalado
H334	Quando inalado pode provocar sintomas alérgicos, de asma ou dificuldades respiratórias
H335	Pode provocar irritação das vias respiratórias
H336	Pode provocar sonolência ou vertigem
H340	Pode provocar defeitos genéticos *(indicar a via de exposição, se for conclusivamente comprovado que nenhuma outra via de exposição provoca o dano)*
H341	Suspeito de provocar defeitos genéticos *(descrever a via de exposição, se for conclusivamente comprovado que nenhuma outra via de exposição provoca o dano)*
H350	Pode provocar câncer *(indicar a via de exposição, se for conclusivamente comprovado que nenhuma outra via de exposição provoca o dano)*
H351	Suspeito de provocar câncer *(descrever a via de exposição, se for conclusivamente comprovado que nenhuma outra via de exposição provoca o dano)*
H360	Pode prejudicar a fertilidade ou o feto (indicar o efeito específico, se conhecido) se ... *(indicar a via de exposição, se for conclusivamente comprovado que nenhuma outra via de exposição provoca o dano)*

H361	Suspeita-se que prejudique a fertilidade ou o feto *(indicar o efeito específico, se conhecido)* se ... *(indicar a via de exposição, se for conclusivamente comprovado que nenhuma outra via de exposição provoca o dano)*
H362	Pode ser nocivo às crianças alimentadas com leite materno
H370	Provoca danos aos órgãos (indicar todos os órgãos afetados, se conhecidos) se ... *(indicar a via de exposição, se for conclusivamente comprovado que nenhuma outra via de exposição provoca o dano)*
H371	Pode provocar danos aos órgãos *(indicar todos os órgãos afetados, se conhecidos)* se ... *(indicar a via de exposição, se for conclusivamente comprovado que nenhuma outra via de exposição provoca o dano)*
H372	Provoca danos aos órgãos *(indicar todos os órgãos afetados, se conhecidos)* por exposição repetida ou prolongada *(indicar a via de exposição, se for conclusivamente comprovado que nenhuma outra via de exposição provoca o dano)*
H373	Pode provocar danos aos órgãos *(indicar todos os órgãos afetados, se conhecidos)* por exposição repetida ou prolongada *(indicar a via de exposição, se for conclusivamente comprovado que nenhuma outra via de exposição provoca o dano)*
H400	Muito tóxico para os organismos aquáticos
H401	Tóxico para os organismos aquáticos
H402	Nocivo para os organismos aquáticos
H410	Muito tóxico para os organismos aquáticos, com efeitos prolongados
H411	Tóxico para os organismos aquáticos, com efeitos prolongados
H412	Nocivo para os organismos aquáticos, com efeitos prolongados
H413	Pode provocar efeitos nocivos prolongados para os organismos aquáticos
H420	Provoca danos à saúde pública e ao meio ambiente pela destruição da camada de ozônio

Quadro em Anexo D.1 – Frases de perigo

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 14725-3:2017 e GHS 8ª Edição Revisada (UNITED NATIONS, 2019).

FRASES DE PRECAUÇÃO

Código	Descrição
P101	Se for necessário consultar um médico, tenha em mãos a embalagem ou o rótulo.
P102	Mantenha fora do alcance das crianças.
P103	Leia o rótulo antes de utilizar o produto.

Quadro em Anexo E.1 – Frases de precaução – Geral

Fonte: ABNT NBR 14725-3:2017.

Código	Descrição
P201	Obtenha instruções específicas antes da utilização.
P202	Não manuseie o produto antes de ter lido e compreendido todas as precauções de segurança.
P210	Mantenha afastado do calor, faísca, chama aberta superfícies quentes. - Não fume.
P211	Não pulverize sobre chama aberta ou outra fonte de ignição.
P220	Mantenha/guarde afastado de roupa e materiais combustíveis.
P221	Tome todas as precauções para não misturar com materiais combustíveis.
P222	Não deixe entrar em contato com o ar.
P223	Não deixe entrar em contato com água.
P230	Mantenha úmido com.
P231	Manuseie em atmosfera de gás inerte.
P232	Proteja da umidade.
P233	Mantenha o recipiente hermeticamente fechado.
P234	Conserve somente no recipiente original.
P235	Mantenha em local fresco.
P240	Aterre o vaso contentor e o receptor do produto durante transferências.
P241	Utilize equipamento elétrico, de ventilação ou de iluminação à prova de explosão.
P242	Utilize apenas ferramentas antifaiscantes.
P243	Evite o acúmulo de cargas eletrostáticas.
P244	Mantenha válvulas e conexões isentas de óleos e graxas.
P250	Não submeta à abrasão, choque ou fricção.
P251	Não perfure ou queime, mesmo após o uso.
P260	Não inale as poeiras, fumos, gases, névoas, vapores e aerossóis.
P261	Evite inalar as poeiras, fumos, gases, névoas, vapores e aerossóis.

P262	Evite o contato com os olhos, a pele ou a roupa.
P263	Evite o contato durante a gravidez ou amamentação.
P264	Lave cuidadosamente após o manuseio.
P270	Não coma, beba ou fume durante a utilização deste produto.
P271	Utilize apenas ao ar livre ou em locais bem ventilados.
P272	A roupa de trabalho contaminada não pode sair do local de trabalho.
P273	Evite a liberação para o meio ambiente.
P280	Use luvas de proteção, roupa de proteção, proteção ocular e proteção facial.
P282	Use luvas de proteção contra o frio, proteção facial e proteção ocular.
P283	Use roupa resistente retardadora de fogo ou chama.
P284	Use equipamento de proteção respiratória (em caso de ventilação inadequada)
P231 + P232	Manuseie em atmosfera de gás inerte. Proteja da umidade.
P235+ P410	Mantenha em local fresco. Mantenha ao abrigo da luz solar.

Quadro em Anexo E.2 – Frases de precaução – Prevenção

Fonte: ABNT NBR 14725-3:2017.

Código	Descrição
P301	Em caso de ingestão:
P302	Em caso de contato com a pele:
P303	Em caso de contato com a pele (ou o cabelo):
P304	Em caso de inalação:
P305	Em caso de contato com os olhos:
P306	Em caso de contato com a roupa:
P307	Em caso de exposição:
P308	Em caso de exposição ou suspeita de exposição:
P310	Contate imediatamente um centro de informação toxicológica ou um médico.
P311	Contate um centro de informação toxicológica/médico.
P312	Caso sinta indisposição, contate um centro de informação toxicológica/médico.
P313	Consulte um médico.
P314	Em caso de mal-estar, consulte um médico.
P315	Consulte imediatamente um médico.
P320	É urgente um tratamento específico (veja... neste rótulo).
P321	Tratamento específico (veja... neste rótulo).
P330	Enxágue a boca.
P331	NÃO provoque vômito.
P332	Em caso de irritação cutânea:

P333	Em caso de irritação ou erupção cutânea:
P334	Mergulhe em água fria/aplique compressas úmidas.
P335	Remova da pele as partículas soltas.
P336	Descongele com água morna as áreas afetadas. Não esfregue a área afetada.
P337	Caso a irritação ocular persista:
P338	No caso de uso de lentes de contato, remova-as, se for fácil. Continue enxaguando.
P340	Remova a pessoa para local ventilado e a mantenha em repouso numa posição que não dificulte a respiração.
P342	Em caso de sintomas respiratórios:
P351	Enxágue cuidadosamente com água durante vários minutos.
P352	Lave com água em abundância.
P353	Enxágue a pele com água/tome uma ducha.
P360	Enxágue imediatamente com água em abundância a roupa e a pele contaminadas antes de se despir.
P361	Retire imediatamente toda a roupa contaminada.
P362	Retire a roupa contaminada.
P363	Lave a roupa contaminada antes de usá-la novamente.
P364	Lave-a antes de usá-la novamente.
P370	Em caso de incêndio:
P371	Em caso de incêndio de grandes proporções:
P372	Risco de explosão em caso de incêndio.
P373	NÃO combata o fogo quando ele atingir explosivos.
P374	Combata o incêndio tomando as precauções normais, a uma distância razoável.
P375	Combata o incêndio à distância, devido ao risco de explosão.
P376	Contenha o vazamento se puder ser feito com segurança.
P377	Vazamento de gás com chamas: não apague, a menos que se possa conter o vazamento com segurança.
P378	Para a extinção utilize
P380	Abandone a área.
P381	Elimine todas as fontes de ignição se puder ser feito com segurança.
P390	Absorva o produto derramado a fim de evitar danos materiais.
P391	Recolha o material derramado.
P301 + P310	Em caso de ingestão: Contate imediatamente um centro de informação toxicológica. médico...
P301 + P312	Em caso de ingestão: Caso sinta indisposição, contate um centro de informação toxicológica/ médico/...
P301 + P330 + P331	Em caso de ingestão: Enxágue a boca. NÃO provoque vômito.
P302 + P334	Em caso de contato com a pele: Mergulhe em água fria/ aplique compressas úmidas.
P302 + P352	Em caso de contato com a pele: Lave com água e sabão em abundância.

P303 + P361 + P353	Em caso de contato com a pele (ou com o cabelo): Retire imediatamente toda a roupa contaminada. Enxágue a pele com água/ tome uma ducha.
P304 + P312	Em caso de inalação: Caso sinta indisposição, contate um centro de informação toxicológica, médico...
P304 + P340	Em caso de inalação: Remova a pessoa para local ventilado e a mantenha em repouso numa posição que não dificulte a respiração.
P305 + P351 + P338	Em caso de contato com os olhos: Enxágue cuidadosamente com água durante vários minutos. No caso de uso de lentes de contato, remova-as, se for fácil. Continue enxaguando.
P306 + P360	Em caso de contato com a roupa: Enxágue imediatamente com água em abundância a roupa e a pele contaminadas antes de se despir.
P301 + P310	Em caso de ingestão: Contate imediatamente um centro de informação toxicológica, / médico...
P301 + P312	Em caso de ingestão: Caso sinta indisposição, contate um centro de informação toxicológica, médico...
P301 + P330 + P331	Em caso de ingestão: Enxágue a boca. NÃO provoque vômito.
P302 + P334	Em caso de contato com a pele: Mergulhe em água fria/aplique compressas úmidas.
P302 + P352	Em caso de contato com a pele: Lave com água e sabão em abundância.
P303 + P361 + P353	Em caso de contato com a pele (ou com o cabelo): Retire imediatamente toda a roupa contaminada. Enxágue a pele com água/tome uma ducha.
P304 + P312	Em caso de inalação: Caso sinta indisposição, contate um centro de informação toxicológica, / médico...
P304 + P340	Em caso de inalação: Remova a pessoa para local ventilado e a mantenha em repouso numa posição que não dificulte a respiração.
P305 + P351 + P338	Em caso de contato com os olhos: Enxágue cuidadosamente com água durante vários minutos. No caso de uso de lentes de contato, remova-as, se for fácil. Continue enxaguando.
P306 + P360	Em caso de contato com a roupa: Enxágue imediatamente com água em abundância a roupa e a pele contaminadas antes de se despir.
P308 + P311	Em caso de exposição ou suspeita de exposição: Contate um centro de informação toxicológica, médico...
P308 + P313	Em caso de exposição ou suspeita de exposição: Consulte um médico.
P332 + P313	Em caso de irritação cutânea: Consulte um médico.
P333+ P313	Em caso de irritação ou erupção cutânea: Consulte um médico.
P335 + P334	Remova da pele as partículas soltas. Mergulhe em água fria/ aplique compressas úmidas.
P337+ P313	Caso a irritação ocular persista: consulte um médico.
P342 + P311	Em caso de sintomas respiratórios: Contate um centro de informação toxicológica, médico...
P361 + P364	Retire imediatamente toda a roupa contaminada e lave-a antes de usá-la novamente.

P362 + P364	Retire toda a roupa contaminada e lave-a antes de usá-la novamente.
P370 + P376	Em caso de incêndio: Contenha o vazamento se puder ser feito com segurança.
P370 + P378	Em caso de incêndio: Para a extinção utilize...
P370 + P380	Em caso de incêndio: Abandone a área.
P370 + P380 + P375	Em caso de incêndio: Abandone a área. Combata o incêndio à distância, devido ao risco de explosão.
P371 + P380 + P375	Em caso de incêndio de grandes proporções: Abandone a área. Combata o incêndio à distância, devido ao risco de explosão.

Quadro em Anexo E.3 – Frases de precaução - Resposta à emergência

Fonte: ABNT NBR 14725-3:2017.

Código	Descrição
P401	Armazene.
P402	Armazene em local seco.
P403	Armazene em local bem ventilado.
P404	Armazene em recipiente fechado.
P405	Armazene em local fechado à chave.
P406	Armazene num recipiente resistente à corrosão com um revestimento interno resistente.
P407	Respeite as distâncias mínimas entre pilhas/paletes.
P410	Mantenha ao abrigo da luz solar.
P411	Armazene a uma temperatura não superior a... °C.
P412	Não exponha a temperaturas superiores a 50 °C.
P413	Armazene quantidades a granel superiores a... kg a uma temperatura não superior a... °C.
P420	Armazene afastado de outros materiais.
P422	Armazene o conteúdo em...
P402 + P404	Armazene em local seco. Armazene em recipiente fechado.
P403 + P233	Armazene em local bem ventilado. Mantenha o recipiente hermeticamente fechado.
P403 + P235	Armazene em local bem ventilado. Mantenha em local fresco.
P410 + P403	Mantenha ao abrigo da luz solar. Armazene em local bem ventilado.
P410 + P412	Mantenha ao abrigo da luz solar. Não exponha a temperaturas superiores a 50 °C.
P411 + P235	Armazene a uma temperatura não superior a... °C. Mantenha em local fresco.

Quadro em Anexo E.4 – Frases de precaução – Armazenamento

Fonte: ABNT NBR 14725-3:2017.

Código	Descrição
P501	Descarte o conteúdo/recipiente em ...
P502	Solicite informações ao fabricante/fornecedor sobre a recuperação/reciclagem.

Quadro em Anexo E.5 – Frases de precaução – Disposição

Fonte: ABNT NBR 14725-3:2017.

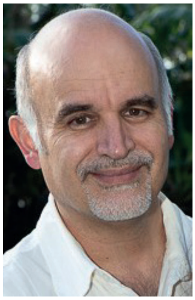
FRASES SUPLEMENTARES DE PERIGO E PRECAUÇÃO

Código	Descrição
EUH 001	Explosivo quando seco.
EUH 006	Explosivo em contato ou sem contato com o ar.
EUH 014	Reage violentamente em contato com a água.
EUH 018	Durante a utilização pode se formar mistura vapor-ar explosiva/ inflamável.
EUH 019	Pode formar peróxidos explosivos.
EUH 044	Risco de explosão se aquecido em ambiente fechado.
EUH 029	Em contato com a água libera gases tóxicos.
EUH 031	Em contato com ácidos libera gases tóxicos.
EUH 032	Em contato com ácidos libera gases muito tóxicos.
EUH 066	A exposição repetida pode causar ressecamento ou rachaduras à pele.
EUH 070	Tóxico em contato com os olhos.
EUH 071	Corrosivo às vias respiratórias.
EUH 059	Perigoso para a camada de ozônio.
EUH 201/ 201A	Contém chumbo. Não utilizar em superfícies que possam ser levadas à boca por crianças. Atenção! Contém chumbo.
EUH 202	Cianoacrilato. Perigo. Cola a pele e os olhos em poucos segundos. Mantenha fora do alcance das crianças.
EUH 203	Contém cromo (VI). Pode provocar reação alérgica.
EUH 204	Contém isocianatos. Pode provocar reação alérgica.
EUH 205	Contém epóxi. Pode provocar reação alérgica.
EUH 206	Atenção! Não utilizar junto com outros produtos. Pode liberar gases perigosos (cloro).
EUH 207	Atenção! Contém cádmio. Fumos perigosos são formados durante a utilização. Consulte as informações fornecidas pelo fabricante. Siga as instruções de segurança.
EUH 208	Contém (nome da substância sensibilizante em questão). Pode provocar reação alérgica.
EUH 209/ 209A	Pode se inflamar facilmente durante a utilização. Pode se inflamar durante a utilização.
EUH 210	A ficha de segurança é fornecida quando solicitada.
EUH 401	Para evitar riscos à saúde humana e ao meio ambiente, siga as instruções de utilização.

Quadro em Anexo F.1 – Frases suplementares de perigo e precaução

NOTA Frases descritas no Regulamento 1272:2008 da Comunidade Europeia.

Fonte: ABNT NBR 14725-3:2017.



SANTIAGO FRANCISCO YUNES - Doutor em Química (UFSC); mestre, licenciado e bacharel em Química pela UFSC. Pós-doutorado em Química (University of California, Santa Barbara/USA e Universidade do Porto, Portugal). Professor do Dep. de Química (QMC/CFM/UFSC). Lattes: http://lattes.cnpq.br/4600040797550793



CARLOS ALBERTO MARQUES - Doutor em Ciências Químicas (Univ. Veneza/ITA); mestre, licenciado e bacharel em Química pela UFSC. Pós-doutorado em Ensino da Química Verde (Itália e Portugal).Professor do Dep. de Metodologia de Ensino (MEN/CED/UFSC). Coordenador do Grupo de Pesquisa no Ensino de Química (GIEQ). Lattes: http://lattes.cnpq.br/3495241443602221



FABIANA LUVIZON - É licenciada e bacharela em Química pela UFSC. Atualmente cursa o mestrado no Programa de Pós-Graduação em Química, também na UFSC. Lattes: http://lattes.cnpq.br/6045631342062170



DOUGLAS JANIEL LUNKES - Licenciatura em Química e Bacharel em Química Tecnológica pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Possui mestrado e atualmente está cursando doutorado no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (UFSC). Lattes: http://lattes.cnpq.br/0131474024057651



PATRICIA LINK RÜNTZEL - Doutoranda e mestra no Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica (PPGECT), é licenciada em Química também pela UFSC. Lattes: http://lattes.cnpq.br/0354849501508282



LEONARDO VICTOR MARCELINO - Doutor e mestre em Educação Científica e Tecnológica pela UFSC, é licenciado em Química pela UFMS. Lattes: http://lattes.cnpq.br/7748560170432626



www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
www.facebook.com/atenaeditora.com.br

A MÉTRICA HOLÍSTICA

ESTRELA VERDE:

ANÁLISE DE ATIVIDADES EXPERIMENTAIS NO

ENSINO DE QUÍMICA

Atena Editora
Ano 2023



www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

@atenaeditora

www.facebook.com/atenaeditora.com.br

A MÉTRICA HOLÍSTICA

ESTRELA VERDE:

ANÁLISE DE ATIVIDADES EXPERIMENTAIS NO

ENSINO DE QUÍMICA

Atena Editora

Ano 2023